

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

«На правах рукопису»
УДК 621.07.9:539.219.3

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 132 Матеріалознавство

**на тему: «Вплив дробоструменевої обробки на структуру та властивості Al-
та Cu- електроіскрових покриттів на сталі ХВГ»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-81мп

Сенчук Дмитро Сергійович

Керівник:

к.т.н., доцент Лобачова Г.Г.

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

д.т.н., професор Левченко О.Г.

Консультант з організаційно-економічної частини:

к.е.н., доцент Петренко К.В.

Консультант з нормоконтролю:

ас. Шаповалова Н.А.

Рецензент:

к.т.н., доцент Бобіна М.М.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство («Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Сенчуку Дмитру Сергійовичу

1. Тема дисертації «Вплив дробоструменевої обробки на структуру та властивості Al- та Cu- електроіскрових покриттів на сталі ХВГ», науковий керівник дисертації Лобачова Галина Геннадіївна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890-с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження – поверхневі шари сталі ХВГ після нанесення міді(Cu) і алюмінію(Al) методом електроіскрового легування та дробоструменевої обробки.
4. Вихідні дані: літературні дані та дані переддипломної практики.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
 - 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
 - 3) підготувати установку для проведення ЕІЛ;
 - 3) провести процеси електроіскрового легування та дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
 - 4) провести ДО та дослідити вплив ДО на структуру та властивості утворених покриттів;
 - 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій:

- 1) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., **Сенчук Д.С. (гр. ФМ-81мп)** Зміцнення поверхні сталі подвійним електроіскровим легуванням та дробоструменевою обробкою // Збірка тез доповідей XI Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів», 18 – 19 квітня 2019 р., Київ, Україна. – С. 155 – 156.
- 2) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., **Сенчук Д.С. (гр. ФМ-81мп)**, Мелашенко К.В. Вплив дробоструменевого зміцнення на структуру та властивості подвійних електроіскрових покриттів на сталях // Матеріали XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра», 23 квітня 2019 року, Київ, Україна. – С. 209 – 211.
- 3) Лобачова Г.Г., Іващенко Є.В., **Сенчук Д.С. (гр. ФМ-81мп)**. Кінетика формування та будова Сг-С та С-Сг електроіскрових покриттів на сталі ХВГ // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Нові матеріали та технології у машинобудуванні-2019», 30 – 31 травня 2019 р., Київ, Україна. – С. 206 – 207.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.т.н, професор Левченко О.Г.		
Організаційно-економічна частини	к.е.н., доцент Петренко К.В.		
З питань нормоконтролю	ас. Шаповалова Н.А.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання		
2	Огляд сучасних наукових робіт та написання літературного огляду		
3	Освоєння методик дослідження		
4	Виконання експериментальних досліджень		
5	Отримання результатів та їх обговорення		
6	Написання висновку та переліку посилань		
7	Оформлення роботи		
8	Оформлення презентації та написання доповіді		
9	Попередній захист		
10	Захист на засіданні ЕК		

Студент

Д.С. Сенчук

Науковий керівник дисертації

Г.Г. Лобачова

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 94 сторінок, 31 рисунок, 17 таблиць, 65 літературних джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВОЕ ЛЕГУВАННЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ,
ДРОБОСТРУМЕНЕВА ОБРОБКА, СТАЛЬ ХВГ, АЛЮМІНІЙ, МІДЬ

Об'єкт дослідження: поверхневі шари сталі ХВГ після нанесення міді(Cu) і алюмінію(Al) методом електроіскрового легування та дробоструменевої обробки.

Мета роботи: дослідження кінетики формування, структури, мікротвердості, зносостійкості, фазового складу покриттів на сталі ХВГ після електроіскрового легування (міддю, алюмінієм) та впливу на них дробоструменевої обробки.

Методи досліджень: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний, рентгеноструктурний аналіз та випробовування на зносостійкість.

Результати досліджень: встановлено, що електроіскрове легування сталі ХВГ Al- та Cu-анодами дозволяє створити покриття товщиною 10 мкм до 24 мкм з мікротвердістю (4,6 - 7) ГПа внаслідок утворення твердих розчинів матеріалів електродів. Після проведення дробоструменевої обробки отримані більш рівномірні покриття та змінений розподіл мікротвердості у поверхнеому шарі сталі ХВГ. Для алюмінієвого покриття мікротвердість зростає від 4,9 ГПа до 12,4 ГПа. У мідного зразка мікротвердість зростає від 4,6 ГПа до 7 ГПа. Нанесення електроіскрового покриття разом з дробоструменевою обробкою підвищують зносостійкість мідного покриття у 7,6 разів, алюмінієвого у 15,2 рази відносно сталі ХВГ.

ABSTRACT

Master's dissertation: 94 pages, 31 figures, 17 tables, 65 literary sources.

ELECTRO – SPARK ALLOYING, MICROHARDNESS, SANDBLASTING,
STEEL KHVG, ALUMINIUM, COPPER

Object of the study: surface layers of KHVG steel after application of copper (Cu) and aluminum (Al) by electro-spark alloying and shot blasting.

The purpose of the study: the study of the kinetics of the formation, structure, microhardness, wear resistance, phase analysis of coatings on KHVG steel after electro-spark alloying (copper, aluminum) and the impact on them of shot blasting.

Research methods: gravimetric, microstructural, microdurmetric analysis, X-ray analysis and wear tests.

The results of the investigations: It was found that electro-spark alloying of KHVG steel with Al- and Cu- anodes makes it possible to create coatings with a thickness of 10 mkm to 24 mkm with microhardness (4.6 - 7) GPa due to the formation of solid solutions of electrode materials. After shot blasting, more uniform coatings were obtained and the microhardness distribution in the surface layer of KHVG steel was changed. For aluminum coating, the microhardness increases from 4.9 GPa to 12.4 GPa. In the copper sample, the microhardness increases from 4.6 GPa to 7 GPa. Electro – spark alloying with shot blasting increase the wear resistance of copper coating by 7.6 times, aluminum by 15.2 times relative to KHVG steel.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Електроіскрове легування – ефективний метод обробки поверхні матеріалу	10
1.1.1 Застосування електроіскрового легування	11
1.1.2 Принцип дії електроіскрового легування	12
1.1.3 Фізична суть формування електроіскрового покриття	13
1.1.4 Створення електроіскрових покриттів на сталях нанесення міді та алюмінію	17
1.2 Дробоструменева обробка – перспективний метод динамічного зміцнення .	18
1.3 Комбіновані методи обробки поверхні	20
1.4 Висновки до розділу 1	24
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1 Матеріал дослідження	25
2.2 Методика експерименту	25
2.2.1 Електроіскрове легування	26
2.2.2 Дробоструменева обробка	27
2.3 Методи дослідження	28
2.3.1 Мікроструктурний аналіз	28
2.3.2 Мікродюрometrчний аналіз навантаженням 50 г	29
2.3.3 Гравіметричний аналіз	31
2.3.4 Випробування на зносостійкість	31
2.3.5 Рентгеноструктурний аналіз	32

2.4 Висновки до розділу 2	33
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	34
3.1 Утворення покриттів на поверхні сталі ХВГ електроіскровим легуванням алюмінієм та міддю	34
3.2 Вплив дробоструменевої обробки на структуру та мікротвердість електроіскрових покриттів на сталі ХВГ	41
3.3 Висновки до розділу 3	48
4 РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ	49
4.1 Опис ідеї проекту	49
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	50
4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження	51
4.3.1 Витрати на основні матеріали	52
4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади	52
4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова	53
4.3.4 Відрахування на соціальні заходи	55
4.3.5 Витрати на службові відрядження	55
4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій	55
4.3.7 Інші прямі невраховані витрати	55
4.3.8 Накладні витрати	56
4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження	56
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап – проекту	58
4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту	63
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап – проекту	65
4.7 Формування системи збуту	66

4.8 Висновки до розділу 4.....	67
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	68
5.1 Аналіз параметрів приміщення.....	68
5.2 Аналіз мікроклімату приміщення.....	69
5.3 Аналіз освітленості приміщення	70
5.4 Аналіз наявності шуму та вібрації в приміщенні	71
5.5 Розрахунок вентиляції.....	73
5.6 Виробниче випромінювання	75
5.7 Електробезпека	75
5.8 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайній ситуації	77
5.8.1 Пожежна безпека	80
5.8.2 Безпека в аварійних ситуаціях	82
5.9 Висновки до розділу 5	83
ВИСНОВКИ	83
CONCLUSIONS	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕІЛ – ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ

РКД – РЕНТГЕНІВСЬКА КАМЕРА ДЕБАЯ

НДР – НАУКОВО–ДОСЛІДНА РОБОТА

ЗП – ЗАРОБІТНА ПЛАТА

ППД – ПОВЕРХНЕВА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ

ДО – ДРОБОСТРУМЕНЕВА ОБРОБКА

ПФЗП – ПРЯМИЙ ФОНД ЗАРОБІТНОЇ ПЛАТИ

ККД – КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ

ХТО – ХІМІКО ТЕРМІЧА ОБРОБКА

ЛО – ЛАЗЕРНА ОБРОБКА

ВСТУП

В сучасних умовах, виробництво конкурентоспроможної продукції машинобудування неможливе без використання зміцнюючих технологій, особливо таких, які дозволяють сформувати на поверхні виробів шари або покриття, що відрізняються підвищеними експлуатаційними характеристиками, в першу чергу підвищені міцність та зносостійкість. В арсеналі методів зміцнюючої обробки конструкційних і інструментальних матеріалів, розроблених до теперішнього часу, є як традиційні технології, так і принципово нові.

Використання того чи іншого процесу зміцнюючої обробки визначається вимогами, що пред'являються до конкретних виробів. В сучасних умовах, коли значно збільшилися навантаження на деталі машин через підвищення їх потужності і продуктивності відомі методи вже не завжди забезпечують необхідні властивості, тому зростає інтерес до використання комбінованих методів зміцнення, що представляють собою поєднання двох або декількох технологічних процесів, що дозволяють досягти дуже високої ефективності зміцнення, яку неможливо отримати будь-яким одним методом.

Електроіскрове легування і наступна дробоструменева обробка відносяться до перспективних способів комбінованої обробки. Ці процеси дозволяють отримати високу щільність дефектів кристалічної будови і цим створюють сприятливі умови для процесів дифузії і фазових перетворень, щоб відбулось утворення дрібнозернистих структур.

Мета роботи: дослідження кінетики формування, структури, мікротвердості, зносостійкості, фазового складу покриттів на сталі ХВГ після електроіскрового легування (міддю, алюмінієм) та впливу на них дробоструменевої обробки.

визначення мікротвердості та структури сталі ХВГ після нанесення на поверхню Cr та C методом електроіскрового легування.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) підготувати установку для проведення ЕІЛ;
- 4) провести процеси електроіскрового легування та дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
- 5) провести ДО та дослідити вплив ДО на структуру та властивості утворених покриттів;
- 6) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Електроіскрове легування – ефективний метод обробки поверхні матеріалу

Легування металу – процес насичення домішками, що поліпшують фізико-технічні властивості матеріалу. Процес здійснюється безпосередньо при виробництві сплавів. Тобто, поліпшуються характеристики всієї маси металу. Це не завжди виправдано в зв'язку з підвищенням ціни.

Локальний метод, що дозволяє точково змінювати поверхневі властивості матеріалу - електроіскрове легування(ЕІЛ).

Ідея базується на перенесенні невеликих порцій матеріалу при виникненні плазмових розрядів. Операція розплавлення і осадження аноду відбувається в повітряно-газовому середовищі. Спосіб нагадує мікро-зварювальний процес. Виникнення короткочасного електричного імпульсу, викликає розплавлення легуючої основи електрода і перенесення її на оброблювану поверхню. Звідси, інша назва процесу, – «Електроіскрове покриття», «Електроіскрове зміцнення» [1].

Метод поверхневого зміцнення отримав розвиток, завдяки ряду споживчих властивостей:

- можливість здійснювати точковий вплив на площу, що не перевищує часток міліметра; захист навколишнього поверхні не потрібен;
- забезпечення надійного контакту нанесеного матеріалу з основною поверхні оброблюваної деталі,
- високий ступінь адгезії; пояснюється тим, що при процесі відбувається часткова дифузія (проникнення) вглиб металу;
- виникнення невеликого теплового фону; в результаті, відсутнє нагрівання поверхні, не виникає деформація виробу;
- простий технологічний процес; не потрібно спеціальної підготовки

поверхні;

- енергоємність не перевищує 2 кВт; обладнання має невеликі габаритні розміри і масу, завдяки цьому легко транспортується в якості ручної поклажі;
- високий ККД, – масове перенесення металу знаходиться в діапазоні (60-80)%.

1.1.1 Застосування електроіскрового легування

Електроіскрове легування знайшло застосування в таких областях машинобудування і металообробки[2]:

- автомобільне виробництво;
- загальне машинобудування;
- виробництво технологічної оснастки;
- обробка штампів для термічної обробки металів;
- підвищення ріжучих властивостей обробного інструменту;
- зміцнення зубів шестерень; підвищення зносостійкості шийок колінчастих валів та інших областей застосування;
- ремонтні операції при відновленні працездатності пошкоджених деталей.

Електроіскровий метод нанесення металопокриттів має високу ефективність, економічність і універсальність; він перспективний для широкого використання на підприємствах різних галузей економіки, включаючи оборонну промисловість, для збільшення ресурсу і відновлення працездатності деталей і інструментів[3].

Завдяки локалізації площі обробки, спосіб електроіскрового зміцнення застосовують годинникирі, ювеліри. Прижився метод у любителів створювати діючі металеві копії автомобілів, кораблів, літаків. Метод дозволив наносити покриття на скло і кераміку.

1.1.2 Принцип дії електроіскрового легування

Установка електроіскрового легування подає імпульси з заданою частотою на електромагнітний збудник. Якір електромагніту пов'язаний з прикріпленим електродом. Останній, коливаючись, вступає в контакт з оброблюваною деталлю.

В процесі електроіскрового легування, який зображений на рисунку 1.1, виникає електричний розряд, викликаний струмом великої густини (до декількох тисяч ампер). Виділяється велика кількість теплової енергії. Під дією високих температур частина аноду розплавляється. Під впливом електромагнітного поля розплав осідає на поверхні виробу. У точці обробки виникає мікролунка, на край якої потрапляє розплавлений метал. Надаючи аноду (легуючому електроду) поступального руху, створюється лінія з нанесеним матеріалом [4].

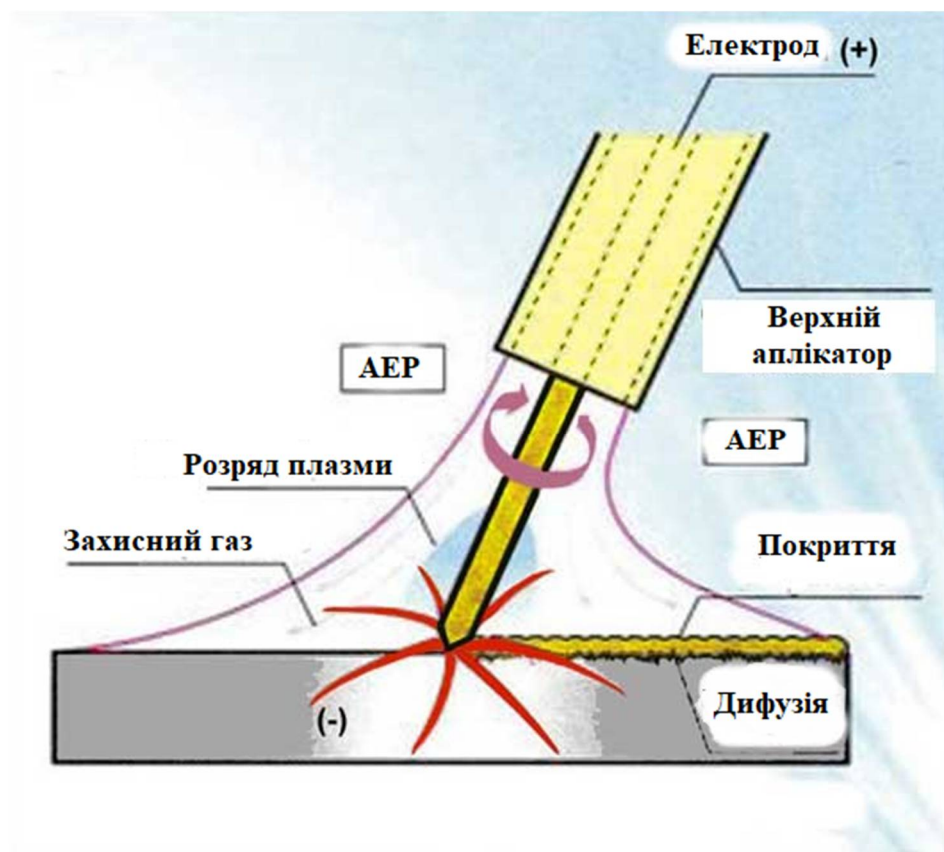


Рисунок 1.1 – Процес електроіскрового легування [4]

Щоб створити суцільне цілісне покриття на катоді (легувальній поверхні), швидкість переміщення анода повинна бути менше або дорівнювати тривалості імпульсу. Тобто, при частоті 100 Гц, тривалість імпульсу становить 0,01 секунди. Прохідний шлях за цей час – не більше $\frac{1}{4}$ діаметра проплавлення лунки. Дотримуючись такої режим обробки, вдається створити суцільне монолітне захисне покриття[5].

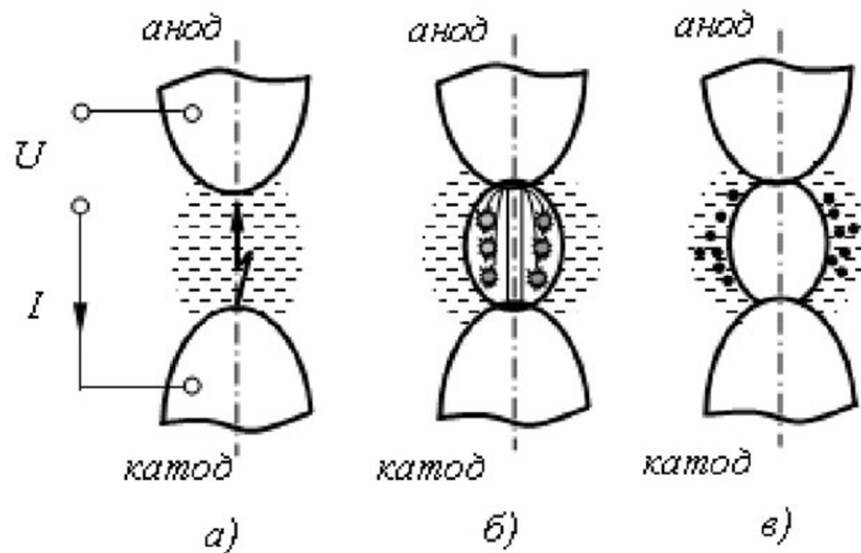
Перед застосуванням електроіскрового легування необхідно провести пробні операції. Це дозволить вибрати необхідний режим роботи під застосовуваний електрод. Наприклад, як показано в досліді Олега Селезньова, при використанні вольфраму можлива приварка анода і катода. Усунути таку перешкоду допоможе попереднє легування вуглецем. Перед покриттям алюмінію карбідом вольфраму, необхідно створити проміжний шар з нікелю[6].

1.1.3 Фізична суть формування електроіскрового покриття

Процес ЕІЛ включає наступні основні етапи (рис. 1.2) [7]:

1. Оплавлення поверхонь. При зближенні електрода-інструменту з металевою поверхнею деталі, відбувається імпульсний електричний розряд тривалістю $10^{-6} - 10^{-3}$ с. В результаті цього на поверхнях електроду і деталі утворюються локальні осередки електроерозійного руйнування (розплавлення, руйнування поверхні).

2. Процес електричної ерозії. На цьому етапі відбувається випаровування матеріалів. При цьому маса легуючого електроду через надлишковий позитивний розряд спрямовується до поверхні катода-деталі. Полярність електродів пов'язана із тривалістю імпульсу, оскільки при малій тривалості імпульсу переважає ерозія аноду, а при великій тривалості імпульсу переважає ерозія катода. Тому на практиці використовуються обидва способи подачі уніполярних імпульсів.



а) етап оплавлення; б) електрична ерозія; в) фізико-хімічна взаємодія

Рисунок 1.2 – Схема фізичних процесів в міжелектродному проміжку при електроіскровому легуванні [7]

3. Процес фізико-хімічної взаємодії. На цьому етапі відбувається хімічна взаємодія матеріалу анода і катода. Крім цього, процес супроводжується деформаційним впливом з протіканням дифузійних процесів. [8].

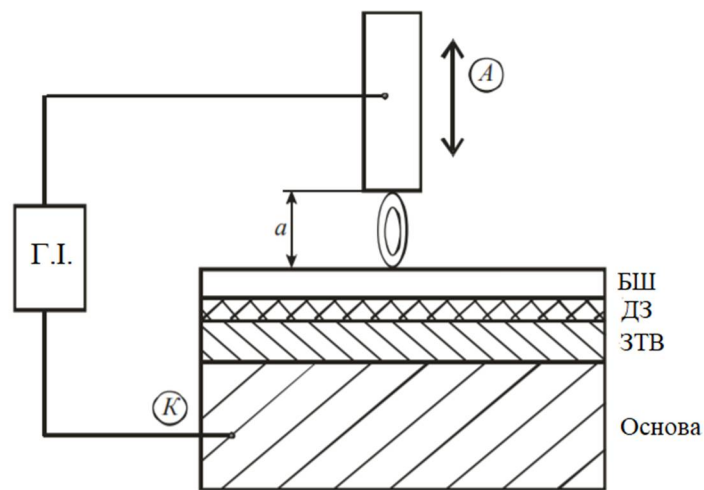
Зміцнена поверхня являє собою складну багатошарову структуру. Верхній шар складається з тонкоплівкових локальних або суцільних структур, що представляють собою в основному матеріал анода. Нижче знаходиться шар суміші з матеріалу анода і катода. У цьому шарі вже є ознаки дифузійних процесів і, відповідно є якийсь дифузний шар легуючих елементів електрода. Далі, як і в металі після зварювання, є зона термічного впливу, яка перетікає в зону термічно обробленого і далі в зону рівноважного металу деталі.[8]

Універсальність електричної іскри як технологічного інструменту, що характеризується широким діапазоном значень параметрів покриттів, дає можливість використати одне і те ж устаткування для різних технологічних цілей і поєднувати в одному циклі обробки різні технологічні процеси.

Під час електроіскрового легування (рис. 1.3) здійснюється вплив на

металеві поверхні в газовому середовищі короткими (до 1000 мкс) електричними розрядами з енергією від сотих долей до десятка і більше джоулів і частотою зазвичай не більше 1000 Гц. При періодичному контакті електрода (анода), вібруючого в міжелектродному проміжку з певною частотою, з оброблюваним виробом (катодом) і його розриві виникають електричні розряди, що створюються генератором імпульсів [9].

В результаті відбувається наступне: процеси переважного руйнування матеріалу електрода (анода) і утворення вторинних структур в його робочій частині; перенесення продуктів ерозії електрода на деталь (катод); на поверхні виробу протікають мікрометалургійні процеси; елементи матеріалу електрода дифундують в поверхневий шар виробу (рис. 1.3); поверхня виробу набуває нового специфічного рельєфу (рис. 1.3, а); утворюється на поверхні виробу змінений шар, що включає білий шар, дифузійну зону і зону термічного впливу, при цьому змінюються властивості поверхневого шару; формується поверхневий шар дрібнодисперсного складу (рис. 1.3, в), аж до нанорівню відбувається зміна розміру виробу [10].



А – легуючий електрод(анод); К – поверхня(катод); ГІ – генератор імпульсів;
БШ – білий шар; ДЗ – дифузійна зона; ЗТВ – зона термічного впливу; а –
міжелектродний проміжок;

Рисунок 1.3 – Загальна схема процесу електроіскрового легування [10]

Таким чином, на оброблюваній поверхні в результаті взаємодії рідких фаз матеріалів аноду і катоду можуть утворюватися нові сплави зі складом, який неможливо отримати традиційними металургійними методами. Властивості покриття відрізняються від вихідного стану поверхні та змінюються в залежності від параметрів іскрового розряду, складу електродного матеріалу, матеріалу оброблюваної деталі і інших чинників [11].

В залежності від режимів електроіскрового легування величина і ступінь зміцнення кожного шару можуть змінюватись в широкому діапазоні, але найбільшу товщину завжди має зона термічного впливу, яка в більшості випадків і визначає експлуатаційні властивості поверхні [12].

При ЕІЛ вплив міжелектродного середовища дуже суттєвий [12]. Це відбивається на зміні товщини легованого шару та якості зміцнюючого покриття, що, в свою чергу, визначає його фізико-механічні властивості, зокрема твердість та зносостійкість.

ЕІЛ супроводжується різними видами фізико-хімічних перетворень. Основний ефект отримується через вірність вибору електричних параметрів режиму обробки, конструкції установки, легуючих матеріалів електродів та міжелектродного середовища, реакційної системи застосованих газів (CO_2 , NC , C_2H_4 , H_2 , N , Ar , повітря) [13].

Електроіскрове легування дозволяє: значно підвищити зносостійкість і твердість металічних поверхонь деталей машин і технологічної оснастки з метою збільшення їх довговічності і заміни спеціальних сталей менш дефіцитними, або більш дешевими; змінити електричні властивості струмопровідних поверхонь, зменшити перехідні опори електричних контактів, їх зношення; збільшити шорсткість металічних поверхонь; наносити проміжні та перехідні шари для полегшення лужіння і процесу пайки; підвищити корозійну стійкість та вогнетривкість, а також відновлювати робочі поверхні деталей машин та інструментів; отримувати випрямляючі контакти на напівпровідниках (нанесені

покриття мають досконалий і міцний зв'язок з основним металом підкладки, оскільки супроводжуються високо реакційними та дифузійними процесами) [14].

1.1.4 Створення електроіскрових покриттів на сталях нанесення міді та алюмінію

При легуванні поверхні мідним електродом спостерігається дрібніша текстура рельєфу шару з більш розвиненою поверхнею в порівнянні з вольфрамовим електродом, що викликано дрібнокраплинним масопереносом міді і великим перегрівом крапель рідкого металу, про що свідчить підвищена мікропористість шару. Крапля міді, маючи нижчу температуру плавлення, більше розтікається по поверхні, що легується. Це і є причиною меншої шорсткості поверхні[15]. Автори роботи [15] в ході досліджень за освітою зміненого поверхневого шару на сталі 35, змогли розділити електродні матеріали для нанесення покриттів на сталі на кілька груп. В першу групу автори віднесли (Ni, Co, Mn, Cr, V). До другої групи віднесли (Cu, Al), за словами авторів мідь при електроіскровому легуванню сприяє утворенню щільного покриття, яке складається з чистої міді і її оксидів. Приклади матеріалів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Приклади електродних матеріалів, що застосовуються для нанесення покриттів за допомогою електроіскрового легування, в залежності від призначення одержуваного покриття для сталі ХВГ[16]

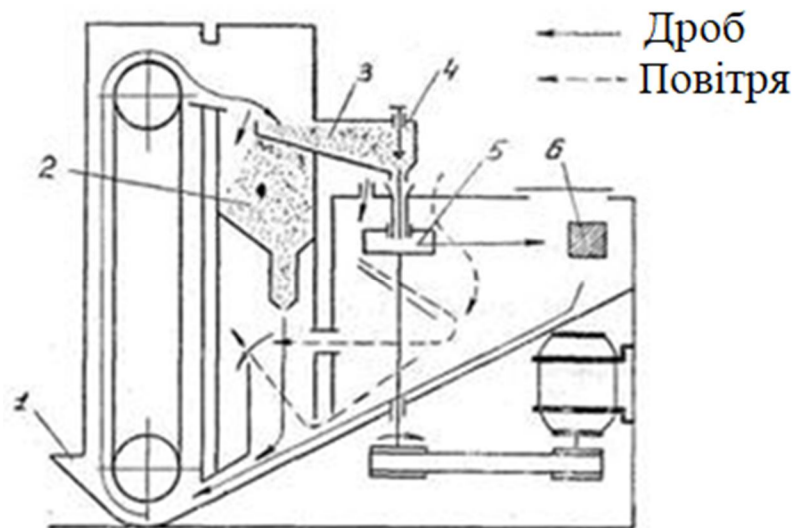
Матеріал електрода (анод)	Матеріал катода	Призначення отриманого покриття
Al, TiAl, Ni3Al	ВК8, Сталь Ст. 3, ХВГ, Al, титановий сплав ВТ18 та інші	Збільшення окалиностійкості, зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості

Продовження таблиці 1.1

Матеріал електрода (анод)	Матеріал катода	Призначення отриманого покриття
Мідь (Cu)	ВК8, Сталь 3, ХВГ, Al, Cu, та інші	Збільшення тепловідводності, корозійної стійкості
Хром (Cr)	ВК8, Сталь 40Х, 45, ХВГ та інші	Збільшення зносостійкості, жаростійкості, окислостійкості
Бронзи ВБр5М, БрБ2, БрА10ЖЗМц2,	Сталі 30ХГСН2А, 45, Р18, чугун та інші	Збільшення зносостійкості
Графітні електроди	ХВГ, Т15К6, сталь Р18, 25 та інші	Збільшення зносостійкості, стійкості різального інструменту
Мо	Сталі 30, 45, ХВГ та інші	Збільшення: стійкості різального інструменту, корозійної стійкості.
Ni, NiCr	Сталі 45, 40Х, ХВГ та інші	Збільшення зносостійкості, жаростійкості, окислостійкості

1.2 Дробоструменева обробка – перспективний метод динамічного зміцнення

Суть методу дробоструменевої обробки полягає у тому, що на оброблювану деталь спрямовується потік дробу, який рухається з великою швидкістю, та при ударі по виробу, він піддається поверхневому пластичному деформуванню (ППД) [17]. Схема механічного дробомета наведена на рисунку 1.4.



1 – бункер; 2 – бункер 2; 3 – елезатор; 4 – сепаратор; 5 – швидкообертаючий ротор; 6 – оброблюваний зразок;

Рисунок 1.4 – Схема механічного дробомета [22]

Переваги дробоструменевої обробки:

- висока продуктивність процесу,
- забезпечення високого ступеня наклепу (до 35 %...40 %),
- утворення залишкових напружень стиску у поверхневому шарі матеріалу деталей.

Недоліками цього зміцнення є нагрів деформованої поверхні через удари твердих дробинок, які летять з великою швидкістю, невисока рівномірність і щільність потоку дробу, що спостерігається на суцільності та однорідності зміцнення. Данні недоліки частково ліквідовані в установках дробоструменевого типу, які здійснюють зміцнення малими кульками діаметром (0,1...0,2) мм. [18].

На практиці застосовують дріб діаметром (0,4...2,0) мм. Чим менше діаметр дробу, тим нижча шорсткість оброблюваної поверхні.

При зміцненні деталей з концентраторами напружень на робочій поверхні кращі результати отримують при обробці дробом, радіус якого відрізняється від радіуса концентраторів напружень типу галтелей, надрізів або канавок. При невеликих концентраторах напружень застосовують дріб з радіусом, більшим

радіусу концентратора напружень. В цьому випадку зона впливу концентратора напружень не виходить за межі глибини зміцненого шару. Якщо концентратор напружень глибокий, слід застосувати мілкий дріб з радіусом, меншим радіуса концентратора напружень. Сталевий і чавунний дріб має значне розсіювання розмірів, форми і твердості, що значно впливає на якість поверхні. Цих недоліків позбавлений, наприклад, спосіб гідродробоударного зміцнення: в робочу суспензію входять стандартні сталеві кульки зі стабільними геометричними параметрами [19].

В результаті даного типу оброблення металевих поверхонь виріб отримує додаткові властивості стійкості, які є допоміжним і надійним бар'єром від пошкодження елементів конструкції корозійним впливом, від прогресування ерозійних реакцій, від появи тріщин в монолітних з'єднаннях. Тому для продовження терміну служби конструкцій і поліпшення технічних якостей металевих виробів, дробеструменева обробка є найдоцільнішим рішенням [20].

1.3 Комбіновані методи обробки поверхні

Значного ефекту можна досягти, використовуючи технології комбінованого зміцнення деталей машин з поєднанням ЕІЛ та поверхневого пластичного деформування (ППД). За допомогою комбінованого зміцнення з'являється можливість створення багат шарових зносостійких покриттів на робочих поверхнях деталей машин. При цьому вдається в значній мірі подолати недоліки кожного методу зміцнення, а також керувати властивостями покриття [21].

В роботі [21] була проведена ППД шляхом обробки обкочуванням та електроіскрове легування, що дозволяє оцінити комбінований метод обробки, його результати і на їх основі підібрати оптимальні способи нанесення та обробки зразків. Автором був підібраний оптимальний режим обробки обкочуванням.

В першу чергу це відносилось до зусилля обкочування (тиску кульки на деталь), подачі та кількості проходів. Визначення режимів обкочування ускладнювалось тим, що залежність між ним та ступенем зміцнення та

шорсткістю нелінійна. Деяка оптимізація по зусиллю для кульки 10 мм проведена в роботі [23]. Ним було встановлено, що оптимальним для пластичних сталей є навантаження (200...350) кг.

В результаті збільшення тиску на поверхню відбувалось порушення цілісності металу на поверхні та з'являлось лущення поверхні. Твердість деталей при обкочуванні не повинна перевищувати 50 HRC. По запропонованій технології формувався зміцнений поверхневий шар, твердість якого на поверхні досягла 1200 HV. Його припрацювання супроводжувалось полірувальним ефектом. Роль твердих часток, які знаходились на робочій поверхні деталі або на поверхні ріжучої кромки штампу, не вичерпувалась їх високою зносостійкістю. Було припущено, що вони блокували пластичну течію металу із зони контакту, де створювався високий тиск.

Важливе значення мала міцність з'єднання твердих часток з основним матеріалом. Матеріал деталі та тверді частки повинні працювати як єдине ціле, що можливо забезпечити комбінованими методами нанесення зносостійких покриттів[24].

При ЕІЛ поверхні деталі твердим сплавом були утворені структурні елементи, їх кількість та характер розташування залежить також від початкового структурного стану поверхневого шару, точніше від енергетичного стану атомів на поверхні, який може бути змінений методами поверхневого пластичного деформування. Густина дислокацій, наприклад в сталі 45 після обкочування кулькою, збільшувалась на порядки. При розгляді простору біля дислокації як простору з атомами підвищеної активності, то число зон підвищеної активності на поверхні збільшується в тисячі разів, що значно збільшує дифузійні процеси. По мірі збільшення пластичної деформації в металі відбувається створення блоків та їх розворот [25].

При дії електричного розряду в металі протікають процеси, які пов'язані з високошвидкісним нагрівом локальних зон до температур фазових перетворень, а можливо і до температур плавлення, з наступною кристалізацією та

загартуванням. Відбувається дифузія елементів електроду в поверхневий шар деталі. В поверхневих шарах виникають структури у вигляді лінз, які залишаються білими після травлення [26].

Автором було доведено, що зміцнення поверхні комбінованим покриттям за схемою ППД \rightarrow ЕІЛ \rightarrow ППД \rightarrow ЕІЛ \rightarrow ППД [27] дозволяє створити багатошарову структуру, підвищити твердість робочих поверхонь в 2 – 2,5 рази та зносостійкість поверхонь в 1,5 – 5 разів. Також при нанесенні комбінованого зносостійкого покриття за схемою ППД \rightarrow ЕІЛ \rightarrow ППД \rightarrow ЕІЛ \rightarrow ППД [27] виникали загартовані ділянки із багатошарової структури із загартованих та декілька разів перезагартованих об'ємів, в яких був підвищений склад карбідів вольфраму та лінз.

Аналіз робіт авторів [28,26,29,30] показав, що перспективними та ефективними методами нанесення зносостійких покриттів є комбіновані методи (КМ).

В своїх наукових працях автори досліджували властивості та доцільність використання дискретних, багатошарових і комбінованих покриттів на різних типах сталей, а також встановили, що впливати на зносостійкість і працездатність захисних покриттів можливо за рахунок складу, архітектури, методу нанесення.

КМ представляють поєднання різноманітних методів нанесення покриттів (ЛО і наступне нанесення покриттів, ЛО і наступна ХТО, термічна обробка і наступний механічний вплив та ін.), внаслідок чого будуть поєднуватись переваги кожного з методів. Практично всі методи нанесення покриттів можливо використовувати в поєднанні один з одним [31].

Використання комбінованих методів зміцнення дозволяє підвищити стійкість до крихкого руйнування, особливо при підвищеній контактній напрузі і циклічному навантаженні, збільшити пластичність, міцність, твердість, зносостійкість, теплостійкість, абразивну та адгезійну стійкості РІ [31, 32].

Ефективність застосування КМ підтверджена багатьма дослідниками. В роботах [33] показана ефективність застосування комбінованої обробки шляхом

нанесення покриття іонно-плазмовим методом (конденсації з іонним бомбардуванням) та попередньою ХТО (іонне азотування) для швидкорізальних сталей та ЛО з наступним нанесення покриттів – попередня ЛО гальмує процеси знеміцнення задньої поверхні РІ, а ЛО після нанесення покриття підвищує його мікротвердість і тріщиностійкість та зміцнює адгезійну стійкість з інструментальною основою.

Застосування комбінованої обробки, проведеної по оптимальних режимах, забезпечує збільшення періоду стійкості РІ в 1,5 - 3 рази в порівнянні з традиційним покриттям в залежності від варіанту обробки [34]. Також автором [32] зазначається, що комбінована обробка, яка включає попереднє азотування і наступне нанесення покриттів, дозволяє збільшити стійкість РІ з швидкорізальної сталі до 5 раз в порівнянні з РІ без зміцнення і до 3 разів в порівнянні з РІ одношаровим покриттям.

Авторами [35] досліджено зносостійкість сталі Р6М5 та встановлено, що комбіноване покриття, отримане ЛО суцільного боридного шару, яке нанесене на сталь Р6М5, підвищує її зносостійкість у 2...3,5 рази.

Ефективність та перспективність комбінованих електролітичних покриттів на основі нікелю та комбінування методів ЕІЛ і плазмового напилювання показана автором [36].

Розроблений авторами [44] комплексний метод нанесення зносостійких покриттів багаторазовою попередньою поверхневою пластичною деформацією кулькою і наступним ЕІЛ твердим сплавом – ЕІЛ з наступним поверхневим пластичним деформуванням кулькою показав, що дане комбіноване покриття володіє високою зносостійкістю і твердістю, а також адгезійною стійкістю у 4 – 5 разів на початковій стадії та в 2 – 2,5 рази надалі.

Авторами [37] встановлено, що поєднання ЛО та ЕІЛ покращує експлуатаційні характеристики сталевих виробів, підвищуючи мікротвердість покриття і опір зносу і знижуючи шорсткість поверхні.

Авторами [38] розроблено та досліджено комбіновану обробку, яка включає

попереднє азотування з наступним нанесенням наноструктурованого багат шарово-композиційного покриття на швидкорізальну сталь Р6М5, та показано, що період стійкості фрез та свердел збільшився до 4 разів в порівнянні з періодом їх стійкості без покриття.

1.4 Висновки до розділу 1

1. За даними, отриманими з літературних джерел можна сказати, що електроіскрове легування та дробоструменева обробка частіше всього призводять до збільшення твердості та зносостійкості матеріалу, що зумовлює їх комбіноване використання для отримання ще більших значень твердості. Також можна зауважити, що проведення дробоструменевої обробки після ЕІЛ дозволяє зробити більш рівномірним отриманий шар за рахунок використання дробу з малим діаметром. Це в свою чергу має вплинути на збільшення зносостійкості та призвести до збільшення строку експлуатації обробленого матеріалу.

2. Розглянуті методи обробки поверхневого шару не потребують особливих умов та дорогого устаткування, що робить ці методи економічно вигідними разом з тим, що нанесення покриттів саме по собі є набагато дешевшим за створення легованих сталей.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріал дослідження

Для дослідження була обрана заєвтектоїдна сталь перлітного класу марки ХВГ. До складу даної сталі входять такі легуючі елементи, як марганець, кремній і вольфрам. Марганець (1 – 2) % забезпечує мінімальну зміну розмірів інструменту при загартуванні. Інтенсивно знижуючи інтервал температур мартенситного перетворення, він сприяє збереженню в структурі підвищеної кількості залишкового аустеніту (15 – 20) %, який частково або повністю компенсує збільшення обсягу в результаті утворення мартенситу. Кремній (1 – 1,5) % дещо підвищує опір відпуску і сприяє утворенню окалини, що легко відділяються. Вольфрам (1 – 5) % підвищує зносостійкість [39].

Сталь марки ХВГ характеризується малою деформацією при гартуванні і застосовується для стрижневих інструментів (свердла). Структура мартенситу і надлишкових карбідів (легований цементит) забезпечує їй твердість (HRC 62 – 69) і високу зносостійкість. Однак через низьку теплостійкість низьколеговані сталі мають практично однакові з вуглецевими сталями експлуатаційні властивості. На відміну від вуглецевих вони менше схильні до перегріву і дозволяють виготовляти інструменти великих розмірів і більш складної форми, проте застосовуються для інструментів, що працюють при невеликих швидкостях різання, що не викликають нагрівання понад (200 – 260) °C.

В даній роботі досліджувалися зразки довжиною 15 мм, шириною 10 мм і висотою 5 мм.

2.2 Методика експерименту

Для досягнення мети проведено такі обробки:

1) ЕІЛ хромом та графітом за схемою:

- Al;

- Cu;

2) ЕІЛ та дробоструменева обробка:

- ЕІЛ Cu + ДО (60 с, 120 с, 180 с);
- ЕІЛ Al + ДО (60 с, 120 с, 180 с);

2.2.1 Електроіскрове легування

Були використані такі матеріали анодів як мідь (до 99,9 % Cu) та алюміній(до 99,9 % Al).

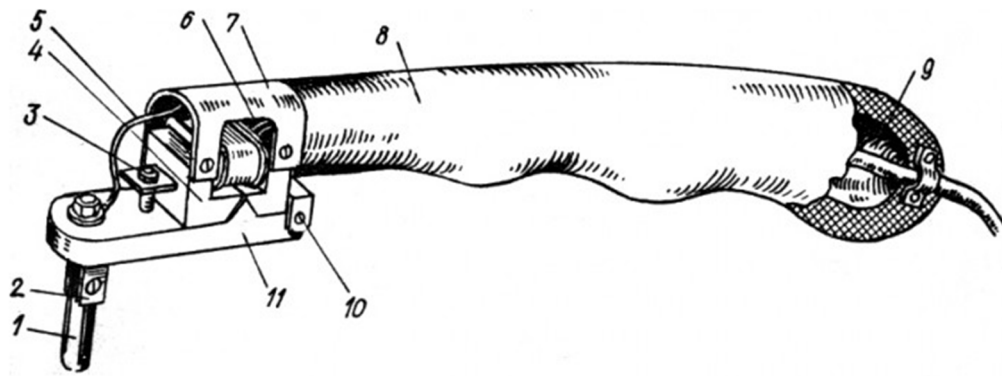
Мідний та алюмінієвий аноди були вибрані зважаючи на утворення з залізом основи обмежених твердих розчинів або інтерметалідів для збільшення поверхневої мікротвердості.

Для нанесення покриттів використовувалась установка “ЕЛИТРОН – 26А” . Енергетичні параметри: сила струму 1,5 А, напруга 60 В. Обробка відбувалась в середовищі повітря. Тривалість нанесення кожного шару складає 3 хвилини.

Принцип дії оснований на генеруванні електроіскрових розрядів між анодом (легуючий матеріал) та катодом (виріб).

Використовувані електричні параметри для приладу: сила струму розряду (2 – 2,2) А, напруга між електродами (60 – 70) В, частота імпульсів ~ 50 Гц,

На рисунку 2.1 наведена найпростіша конструкція робочого органу з електромагнітом. Легуючий електрод 1 закріплюється на електродотримачі 2, до якого проводом 5 підводиться імпульсна технологічне напруга від генератора. Джерелом коливання є електромагніт 4. Для збудження коливання електродотримача на ньому встановлена трикутна феромагнітна вставка якоря 11, а сам електродотримач одним своїм кінцем вільно підвішений на осі 10. Тягове зусилля електромагніта регулюється гвинтом 3. Живлення до електромагніту підводиться проводом 6 від спеціального джерела живлення. Вся система підвішується за допомогою кронштейна 7 до рукоятки 9 і закривається кожухом 8 [40].



1 – легуючий електрод; 2 – електродотримач; 3 – гвинт; 4 – електромагніт ;
5,6 – провoda; 7 – кронштейн; 8 – кожух; 9 – рукоятка ; 10 – вісь; 11 – трикутна
феромагнітна вставка якоря

Рисунок 2.1 – Ручний електромагнітний вібратор для ЕІЛ [40]

2.2.2 Дробоструменева обробка

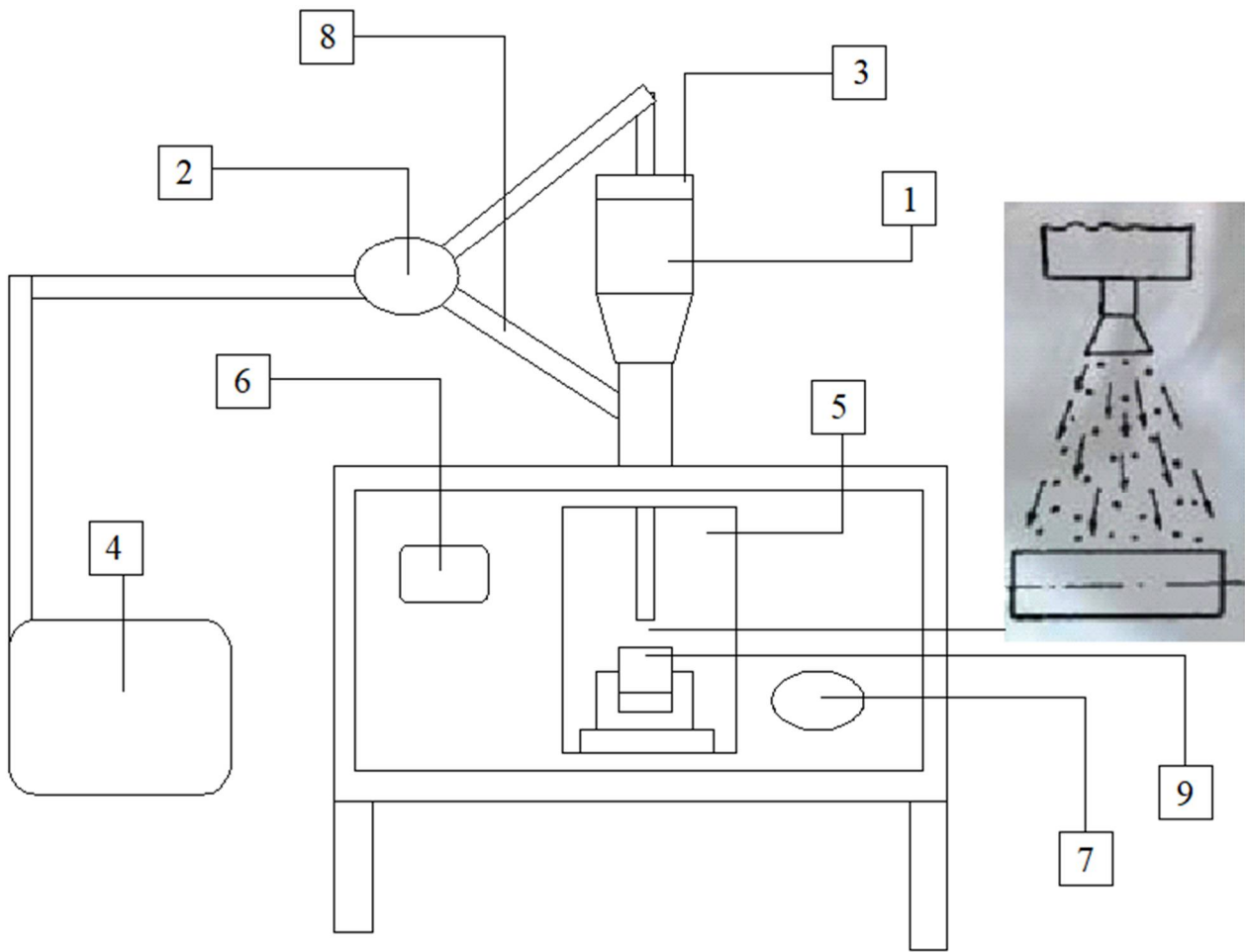
Дробоструменева обробка проводилося на установці, принципова схема якої наведена на рисунку 2.2.

Принцип роботи даної установки полягає в наступному: сталевий дріб засипається в ємність 1, звідки вона вилітає на зразок під тиском струменя повітря з патрубку 8. Тиск повітря створюється за допомогою компресора 4. Тиск контролюється за допомогою манометра 2, спостерігати за обробкою можна через вікно 6, переміщення сопла над зразком здійснюється через отвір 7.

Дробоструменева обробка проводилася для зразків сталі ХВГ з нанесеними електроіскровими покриттями Cu та Al.

Сталеві кульки діаметром 0,5 мм – 1 мм спрямовано бомбардували поверхню зразків при подачі під тиском (5 – 6) атм.

Тривалість бомбардування поверхні складала 60 с, при цьому на зразок висипався дріб загальною масою 4 кг відповідно.



1 – ємність для дробу; 2 – манометр; 3 – кришка; 4 - компресор KOSMOS;
 5– камера; 6 – віконце для спостереження; 7 – отвір для контролю процесом;
 8 – патрубок, 9 – зразок

Рисунок 2.2 – Схема дробоструменевої установки[24]

2.3 Методи дослідження

2.3.1 Мікроструктурний аналіз

Перед проведенням мікроструктурного аналізу проводиться пробопідготовка. Досліджувані зразки закріплювали у струбцинах (між леговою поверхнею та струбциною закладали мідну пластинку) та робили поперечний шліф. При цьому використовували абразивний папір різної зернистості (від 800 до

2500). Шліфування починають на папері з крупним зерном, поступово переходячи до обробки папером з більш дрібним зерном. На кожному виді абразивного матеріалу зразок шліфують до тих пір, поки повністю не зникнуть всі сліди подряпин від попередньої операції. Надалі зразок очищують від налиплих порошинок абразиву та зі шліфованого матеріалу переходять до шліфування папером з дрібнішим абразивом (мікронку). Зазвичай виявляється достатнім використання 4 – 5 номерів шліфувального паперу. Після завершення шліфування зразок ретельно промивється під струменем води та висушується.

Подальше полірування слугує для зменшення нерівностей на плоскій поверхні зразка. Полірування закінчують при зникненні з поверхні будь-яких рисок і подряпин та досягненні нею дзеркальної гладкості. Полірування проводилось на полірувальних кругах, вкритих фетром з додаванням водного розчину оксиду хрому та води.

Для визначення структури зразок травили 15 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

Мікроструктура зразків розглядалась на металографічному мікроскопі МИМ-10 при різних збільшеннях. Фотографування мікроструктур поверхневих ділянок зразків відбувалося за допомогою камери DCM310.

2.3.2 Мікродюрometrчний аналіз навантаженням 50 г

Щоб визначити мікротвердість проводилось вдавнення алмазної пірамідки з двограним кутом при вершині 136° протягом 5 секунд з навантаженням 20 г. За величиною діагоналі визначали мікротвердість в ГПа, користуючись табличними даними приладу [41].

Формула для розрахунку значення мікротвердості :

$$H_\mu = 1854 \times P / (d \times 0.3), \quad (2.1)$$

де H_μ - значення мікротвердості;

P – навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою (100 – 200) г складає $\pm 0,1$ мг);

$d_{\text{сер}}$ – середнє значення довжини діагоналі, яке розраховується за формулою :

$$d_{\text{сер}} = (d_{i1} + d_{i2})/2, \quad (2.2)$$

де d_{i1}, d_{i2} - відповідно довжини діагоналей чотирьохкутного відбитка, мкм.

Найбільша основна похибка окуляр-мікрометра на всьому діапазоні вимірювань складає ± 2 мкм у відповідності з паспортом.

Відносна похибка вимірювання δH_{μ} визначається :

$$\delta H_{\mu} = \left| \frac{H_{\mu}(d_{\text{cp}}) - H_{\mu}(d_{\text{cp}} \pm \sigma_0)}{H_{\mu}(d_{\text{cp}})} \right| \times 100 \% \quad (2.3)$$

Абсолютна похибка :

$$\Delta H_{\mu} = H_{\mu}(d_{\text{cp}}) - H_{\mu}(d_{\text{cp}} \pm \sigma_0) \quad (2.4)$$

Коефіцієнт зміцнення Кзм. розраховувався як співвідношення найбільшого значення мікротвердості легованого шару $H_{\text{лш}}$ до мікротвердості основи $H_{\text{осн}}$:

$$K_{\text{зм}} = \frac{H_{\text{лш}}}{H_{\text{осн}}} \quad (2.5)$$

2.3.3 Гравіметричний аналіз

Кінетику масопереносу вивчали гравіметричним методом із точністю 10^{-4} г, вимірюючи сумарний ($\sum^t \Delta m_k$) приріст маси катоду та сумарну ($\sum^t \Delta m_a$) ерозію аноду через кожну хвилину обробки.

Визначали сумарну ерозію аноду $\Sigma \Delta m_a$ та сумарний приріст маси катоду $\Sigma \Delta m_k$:

$$\Sigma \Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.6)$$

$$\Sigma \Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.7)$$

де t_n – час n-го вимірювання маси зразка;

t_0 – до ЕІЛ.

Коефіцієнт масоперенесення знаходили із співвідношення:

$$K = \left| \frac{\Sigma \Delta m_k}{\Sigma \Delta m_a} \right| \times 100\% . \quad (2.8)$$

Контроль маси електродів проводився з використанням лабораторних вагів «AXIS AD50» (точність вимірювання 0,0005 г).

За одержаними результатами будували криві $\Sigma \Delta m_k$ та $\Sigma \Delta m_a$ в залежності від тривалості обробки.

2.3.4 Випробування на зносостійкість

Випробування на зносостійкість проводилися на установці тертя, сконструйованій за принципом зворотно-поступального руху за схемою “площина по площині” в умовах тертя-ковзання без мастила.

Принцип дії установки є таким: обертання від електродвигуна постійного струму передається на шатун. Рухома платформа здійснює зворотно-поступальний рух по напрямним за допомогою шатуна, прикріпленого до обертальної частини редуктора. На рухомій платформі розміщено досліджуваний

зразок, який контактує з контртілом (сталь Р6М5), закріпленим на важелі, під час дії навантаження (тягар) 4 кг.

Ваговим методом проводилось оцінювання величини зношування. Зразок зважувався через пройдений 96 метрів випробування (пройдений шлях за 4 години - 1056 м). Для зважування використовувались лабораторні електронні ваги AXIS AD50 з точністю 0,0005 г.

За втратою маси обчислювався показник інтенсивності зношування I , кг/м^2 :

$$I = \frac{\sum \Delta m}{s}, \quad (2.9)$$

де Δm – втрата маси, кг;

s – площа поверхні тертя зразка, м^2 .

За розрахованими значеннями I побудовано кінетичні криві інтенсивності зношування покриття в залежності від пройденного часу.

2.3.5 Рентгеноструктурний аналіз

Аналіз фазового складу одержаних зразків здійснювали рентгенофазовим аналізом (РФА) на рентгенівському дифрактометрі Rigaku Ultima IV при потужності 2 кВт – 3 кВт, напрузі – (20 – 60) кВ. Фазовий склад та середній розмір кристалітів було розраховано автоматично за допомогою програмного додатку PDXL на основі стандартних карток та формули Шерера [42]:

$$d = \frac{k \times \lambda}{\beta \times \cos \theta}, \quad (2.10)$$

де d – середній розмір кристалітів, нм;

K – константа Шерера (безрозмірний коефіцієнт форми частинок);

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання, нм;

β – інтегральна ширина піку на піввисоті, рад;

θ – дифракційний кут.

2.4 Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано вибір матеріалу дослідження (сталь ХВГ) та легувальних електродів (високочисті метали Al та Cu).
2. Розроблено нові технологічні прийоми комбінованої обробки, що поєднує електроіскрове легування з подальшим дробоструменевим зміцненням.
3. Гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний, рентгеноструктурний аналізи та випробовування на зносостійкість дозволять повноцінно дослідити різні характеристики отриманих покриттів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Утворення покриттів на поверхні сталі ХВГ електроіскровим легуванням алюмінієм та міддю

Вивчення кінетики масоперенесення в процесі проведення ЕІЛ відбувалося гравіметричним методом. Результати зміни маси катоду (сталі ХВГ) та анодів (мідь та алюміній) після кожної хвилини легування дали змогу побудувати криві приросту маси катоду та ерозії анодів. Для забезпечення кількісного порівняння перенесеної маси від металевих анодів було враховано густину кожного з них ($\text{Cu} = 8,96 \text{ г/см}^3$; $\text{Al} = 2,6989 \text{ г/см}^3$). На рисунку 3.1 та рисунку 3.2 наведено графіки зміни маси аноду та катоду залежно від часу обробки.

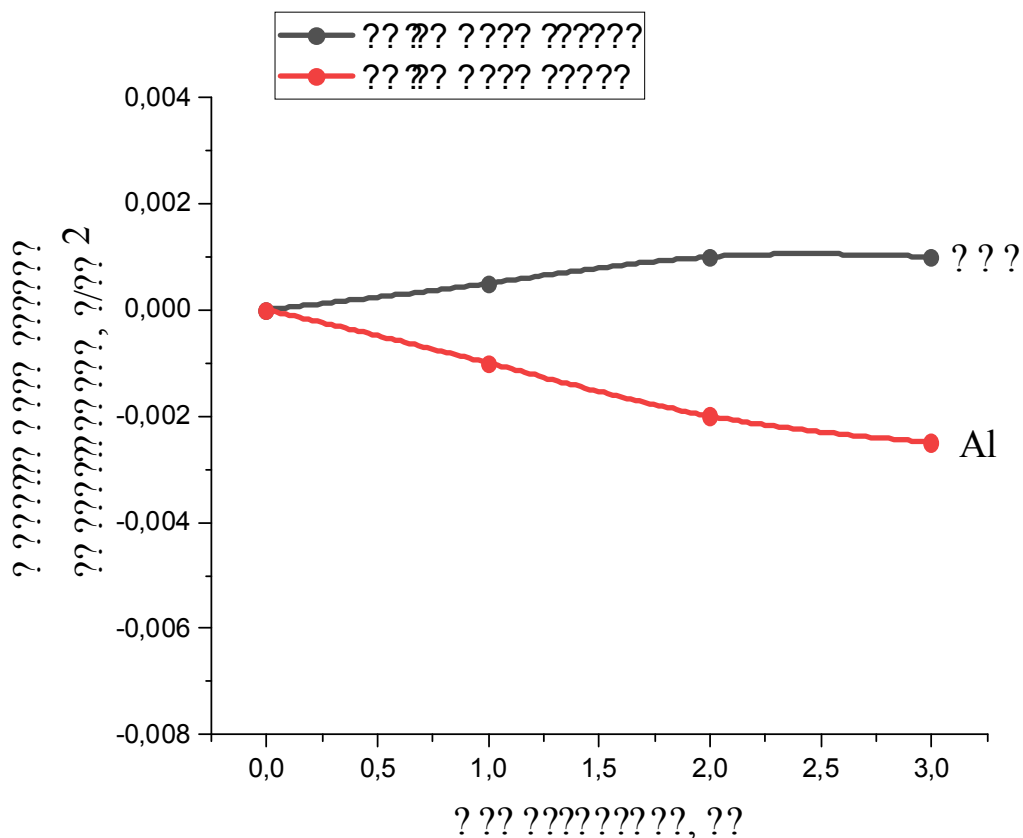


Рисунок 3.1 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії аноду від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі ХВГ алюмінієм

З графіків видно, що криві приросту маси катоду завжди перебувають у додатній області. Це означає, що протягом обробки крихкого руйнування нанесених покриттів не відбувається.

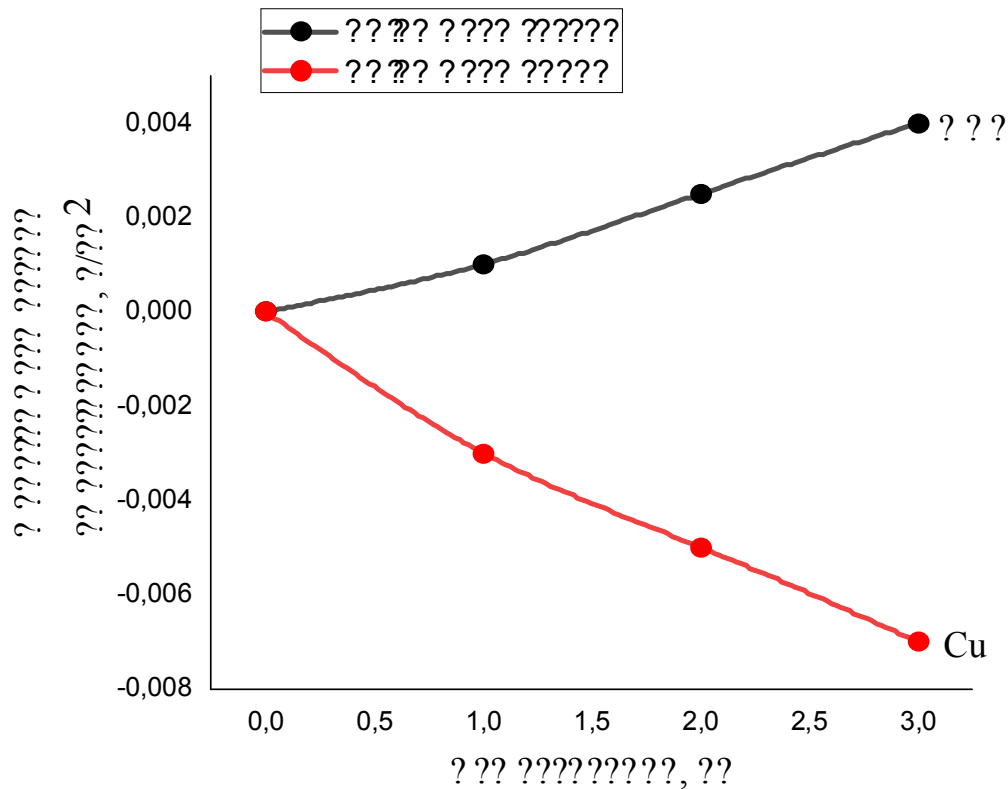


Рисунок 3.2 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії аноду від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі ХВГ міддю

Також проаналізувавши отримані графіки можна зазначити що кількість перенесеної маси міді на катод значно перевищує масу алюмінієвого.

Гістограма (рис. 3.3) ілюструє порівняння коефіцієнтів масоперенесення для кожного з процесів електроіскрового легування. Отже, за результатами розрахунків виходить, що протягом електроіскрове легування міддю за 3 хвилини коефіцієнт масоперенесення K складає 57,14%, у той час як при нанесенні алюмінію за аналогічний період часу $K=40\%$. Розподіл мікротвердості зразка сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм зображено на рисунку 3.4.

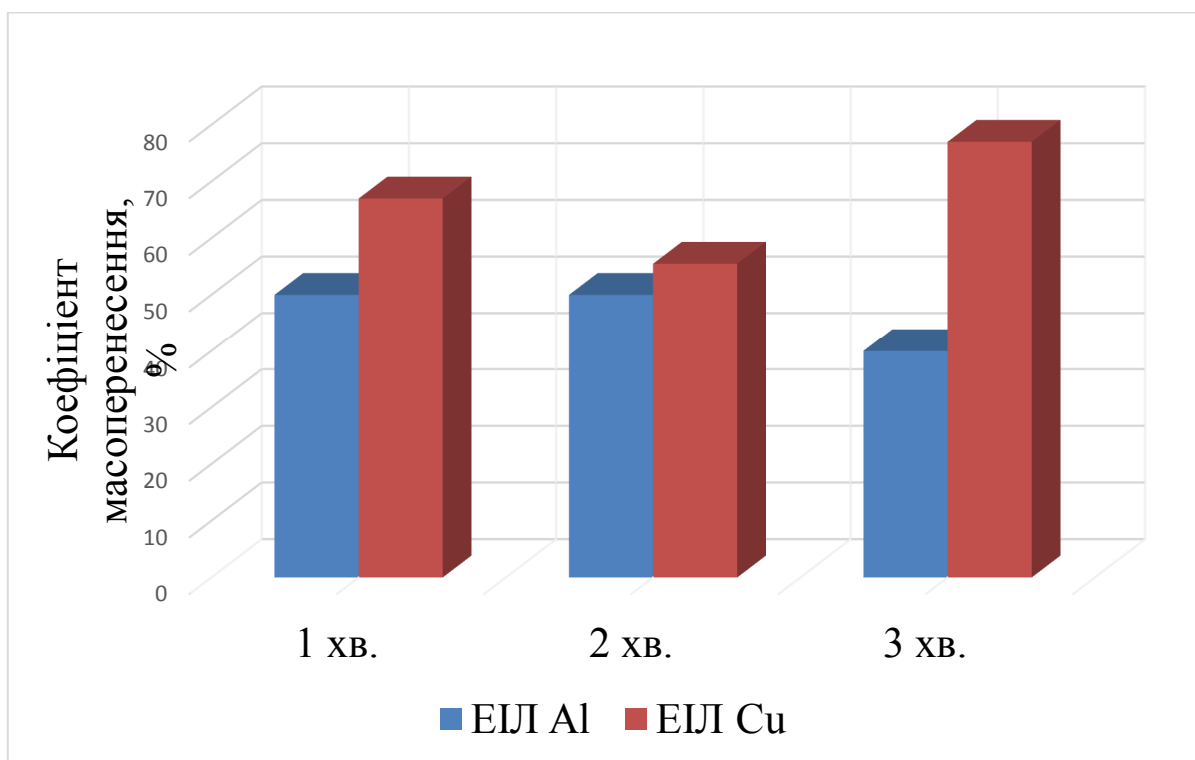


Рисунок 3.3 – Коефіцієнт масоперенесення в процесі електроіскрового легування міддю та алюмінієм

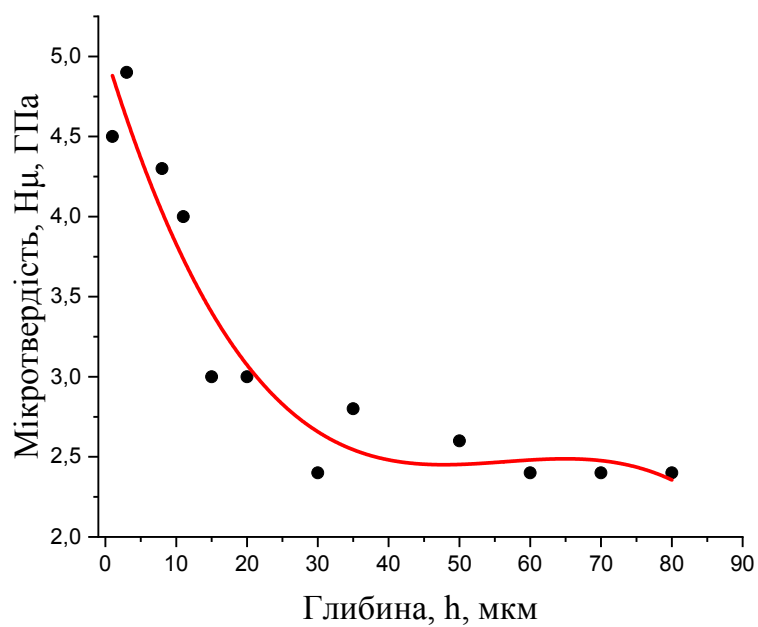


Рисунок 3.4 – Розподіл мікротвердості зразка сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм

Після мікродюрOMETричного аналізу було отримано підвищення мікротвердості поверхні, на яку наносився алюміній. В зоні легованого шару мікротвердість становить ~ 4.9 ГПа. З подальшим заглибленням всередину зразка мікротвердість зменшується, доки не стане 2,4 ГПа в кінці зони термічного впливу. Розрахований коефіцієнт зміцнення становить 2,04.

В результаті електроіскрового легування міддю максимальна мікротвердість в покритті становить 5 ГПа (рис. 3.5). Надалі значення зменшуються в інтервалі від 5 ГПа до 2,4 ГПа і з відстані в 20 мкм отримуємо значення основи оброблюваного матеріалу. Розрахований коефіцієнт зміцнення становить 2,08.

Зростання поверхневої мікротвердості сталевих зразків з нанесеними покриттями можна пояснити утворенням твердих розчинів на основі матеріалу легувального електроду та заліза. Зважаючи, що тверді розчини Fe-Al та Fe-Cu мають обмежену розчинність, можна передбачити формування у покриттях інтерметалідних сполук.

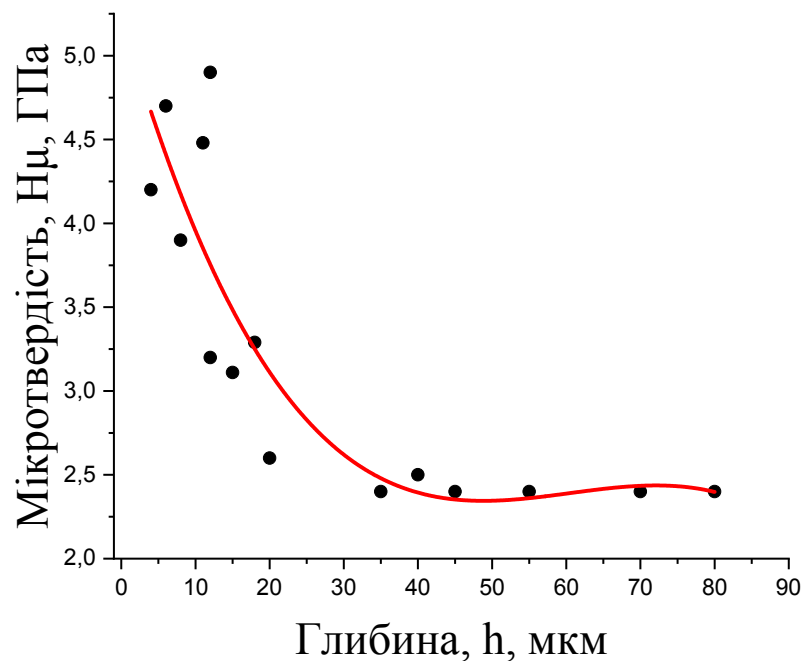


Рисунок 3.5 – Розподіл мікротвердості зразка сталі ХВГ після ЕІЛ міддю

Мікроструктурним аналізом встановлено що покриття після нанесення алюмінію має товщину (8-15) мкм (рис. 3.6). Зона термічного впливу, що розташована під покриттям складає 55 мкм. В ній спостерігається зменшення розміру зерен у порівнянні з основою. Проведення електроіскрового легування міддю приводить до створення легованого шару товщиною (14-24) мкм (рис. 3.7). При порівнянні товщини шарів помітно, що мідне покриття має більшу товщину, що узгоджується з даними гравіметричного аналізу, в якому було визначено, що коефіцієнт масоперенесення при легуванні міддю більше за коефіцієнт при обробці алюмінієм.

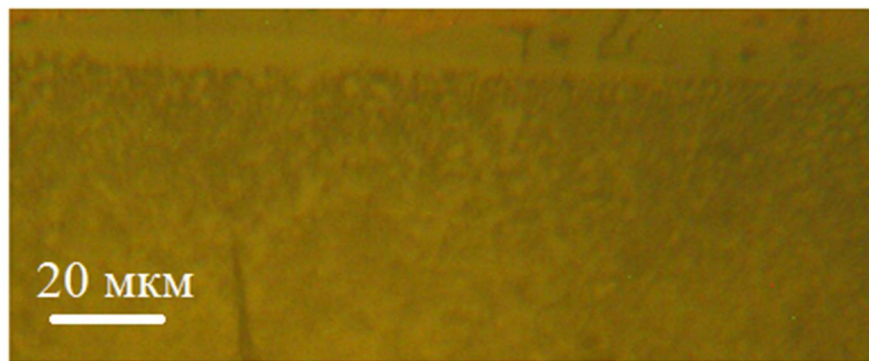


Рисунок 3.6 – Мікроструктура поверхневої зони сталі ХВГ після електроіскрового легування алюмінієм

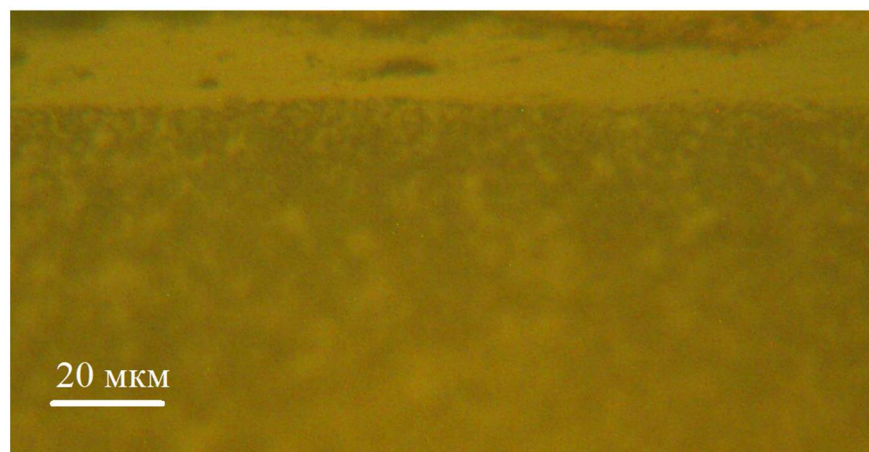


Рисунок 3.7 – Мікроструктура поверхневої зони сталі ХВГ після електроіскрового легування міддю

На рисунку 3.8 зображена дифрактограма поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм.

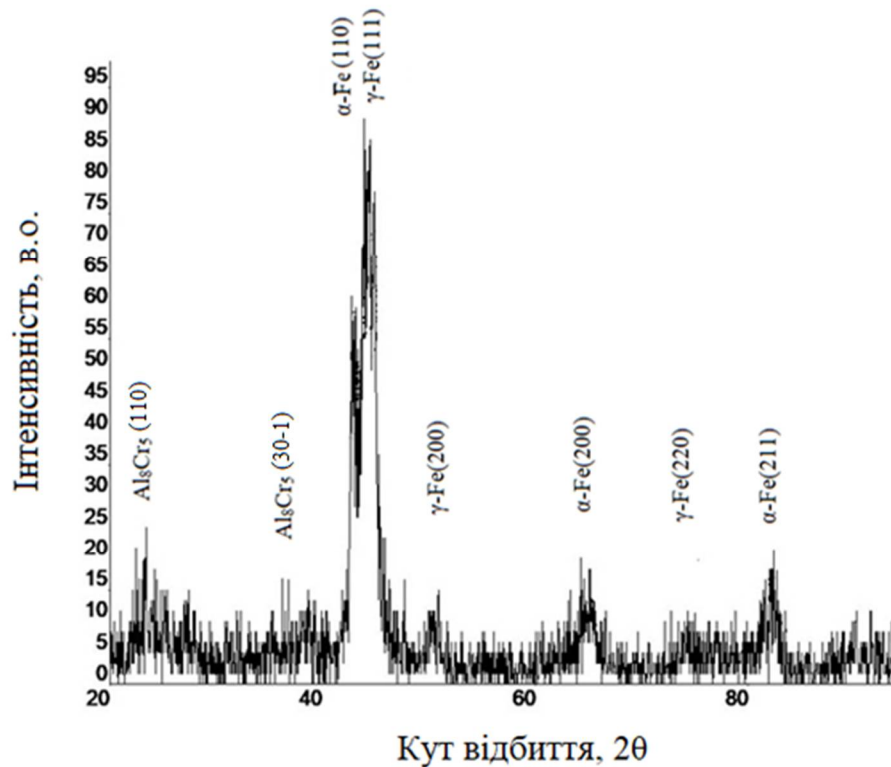


Рисунок 3.8 – Дифрактограма поверхневої зони сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм

В результаті рентгеноструктурного аналізу для зразка зі сталі ХВГ було визначено, що після електроіскрового легування в поверхневому шарі утворюються такі фази, як Al_8Cr_5 , $\alpha\text{-Fe}$ та $\gamma\text{-Fe}$.

На рисунку 3.9 зображена дифрактограма поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ міддю.

Аналіз данної дифрактограми показав, що відбувається утворення нових фаз. На дифрактограмі ми отримуємо піки для Cu та $\gamma\text{-Fe}$, деякі піки накладаються один на одного і ми отримуємо пік в якому знаходяться декілька фаз.

На рисунку 3.10 зображено інтенсивність зношування протягом випробування

на тертя.

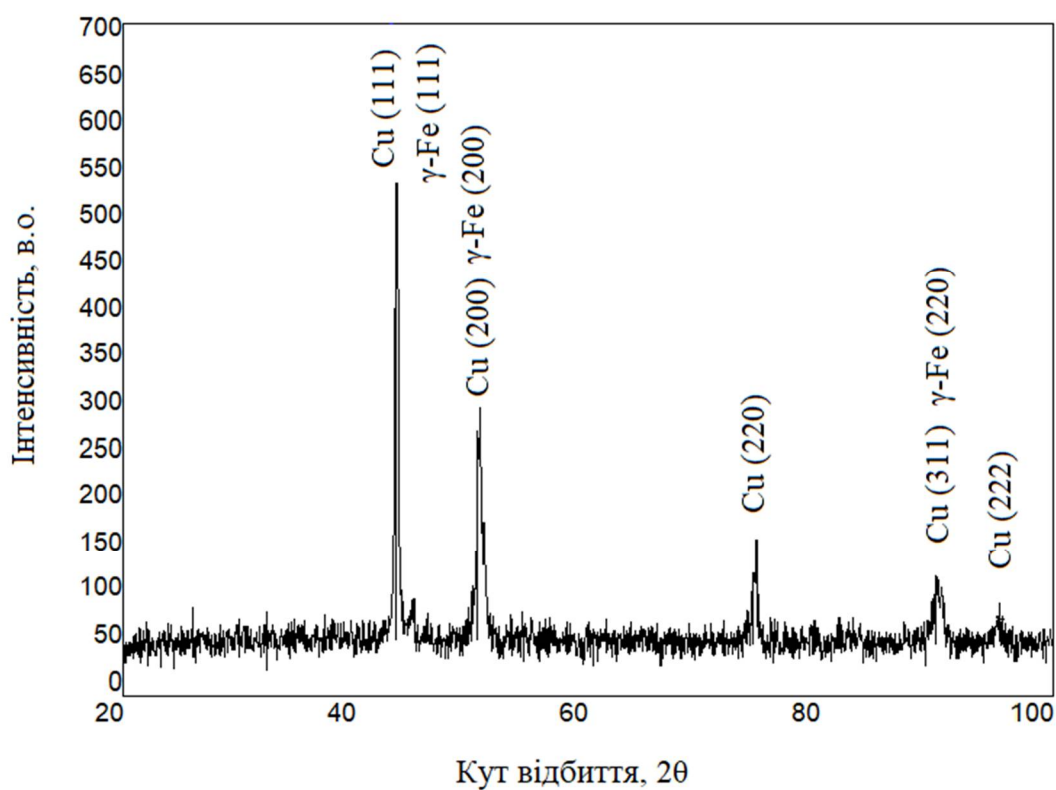


Рисунок 3.9 – Дифрактограма поверхневої зони сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм

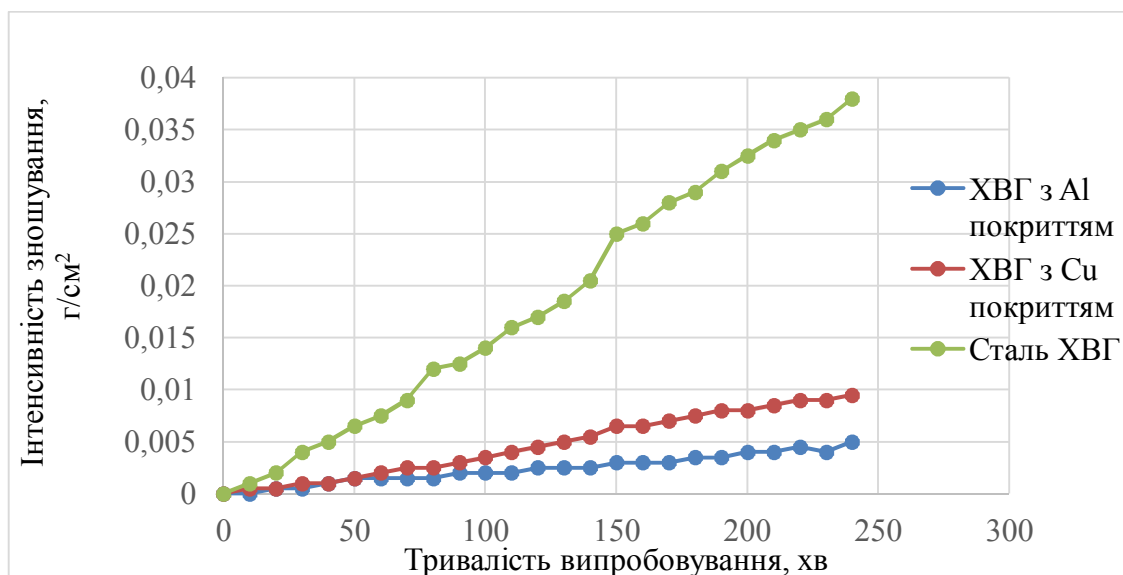


Рисунок 3.10 – Інтенсивність зношування протягом випробування на тертя

З отриманих кривих випробування на зносостійкість видно, що зразки з покриттями мають меншу інтенсивність зношування, ніж необроблена сталь ХВГ. Вони можуть відігравати роль твердого мастила. Отже, зносостійкість алюмінієвого покриття за 240 хвилин випробувань є більшою за необроблену поверхню у 7,6 разів, у той час як стійкість до зношування мідного покриття більше у 4 рази.

3.2 Вплив дробоструменевої обробки на структуру та мікротвердість електроіскрових покриттів на сталі ХВГ

Зразок, легований алюмінієм з подальшою дробоструменевою обробкою протягом 60 с. має максимальну мікротвердість 10,07 ГПа (рис. 3.11), а коефіцієнт зміцнення для нього становить 4,2. Розподіл мікротвердості зразка оброблюваного міддю наведений на рисунку 3.12.

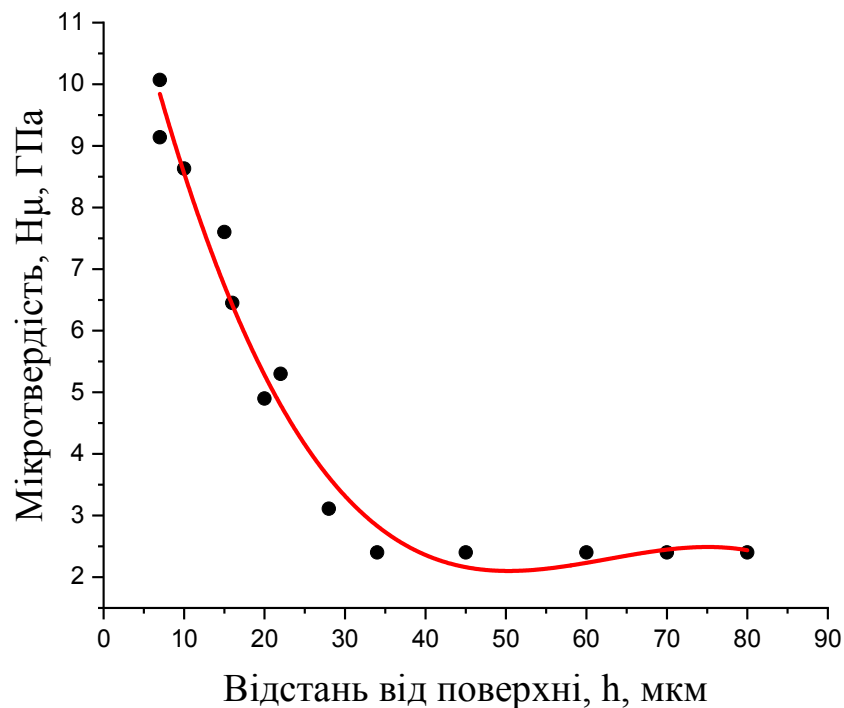


Рисунок 3.11 – Мікротвердість поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Al та дробоструменевої обробки протягом 60 с

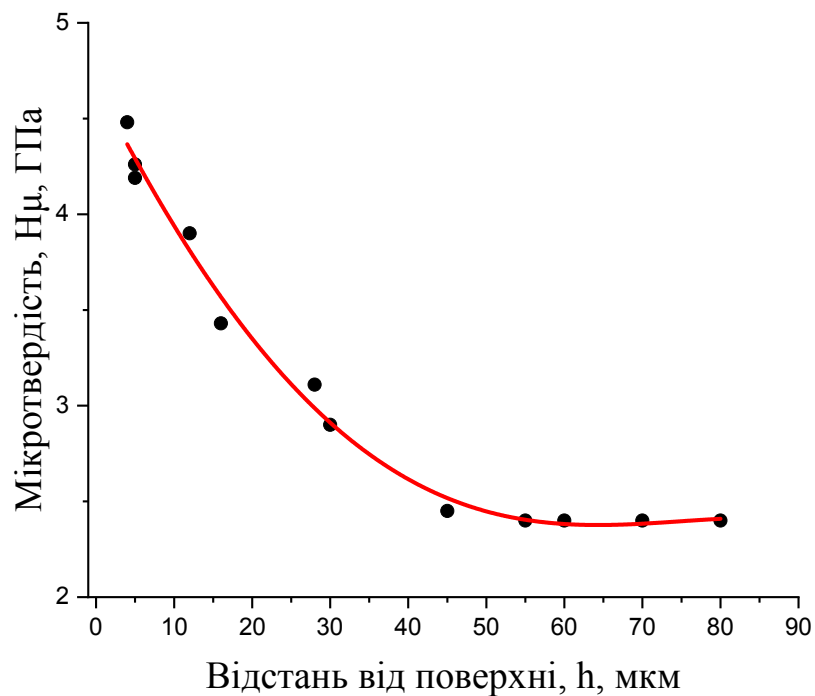


Рисунок 3.12 – Мікротвердість поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Cu та дробоструменевої обробки протягом 60 с

Для зразка, який попередньо оброблювався міддю максимальна мікротвердість після дробоструменевої обробки складає 4.5 ГПа. Коефіцієнт зміцнення має значення 1,875.

З отриманих даних для зазка, що оброблювався при електроіскровом легуванні алюмінієм коефіцієнт зміцнення, який мав значення 2,4 після проведення хвилинної дробоструменевої обробки збільшується до значення 4,2. У випадку з легуванням матеріалу міддю коефіцієнт зміцнення майже не змінився, а, отже, дробоструменева обробка не вплинула на збільшення мікротвердості в даному покритті, хоча розподіл мікротвердості вглиб зразка став більш рівномірним.

В результаті мікродюрOMETричного аналізу після комплексної обробки, що включала електроіскрове легування та дробоструменеву обробку визначено, що сталь, оброблена алюмінієм значно підвищила свою мікротвердість, на відміну від

мідного покриття.

Мікроструктура поверхневих шарів сталі ХВГ з нанесеними алюмінієвим та мідним покриттями наведена на рисунках 3.13 та 3.14.

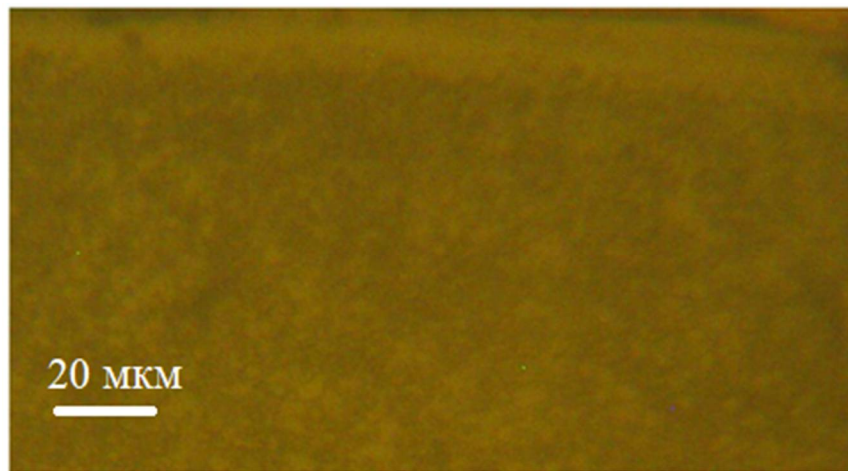


Рисунок 3.13 – Мікроструктура поверхневої зони сталі ХВГ після електроіскрового легування алюмінієм та дробоструменевої обробки

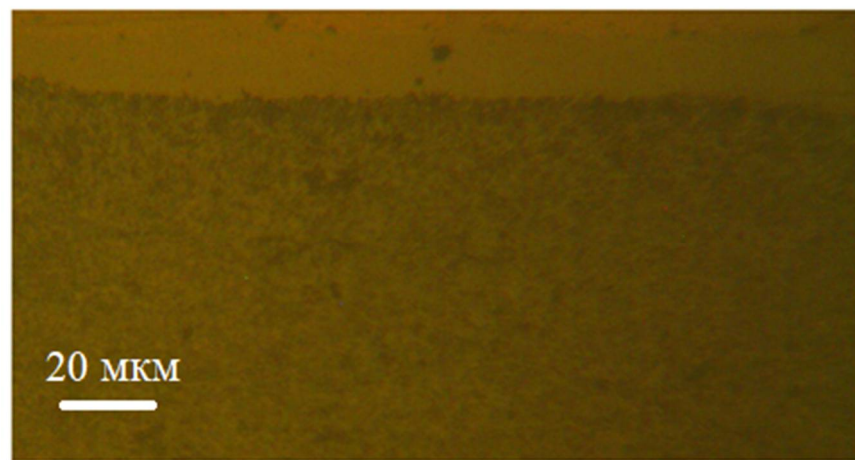


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневої зони сталі ХВГ після електроіскрового легування міддю та дробоструменевої обробки

Після проведення дробоструменевої обробки значення товщини шарів дещо зменшились, але при цьому шари стали більш рівномірними, що може призвести до збільшення їх зносостійкості.

З подальшим збільшенням часу дробоструменевої обробки до трьох хвилин

значення максимальної мікротвердості шару збільшується. Розподіли мікротвердості в глиб зразка для алюмінієвого та мідного покриттів наведено на рисунку 3.15 та рисунку 3.16.

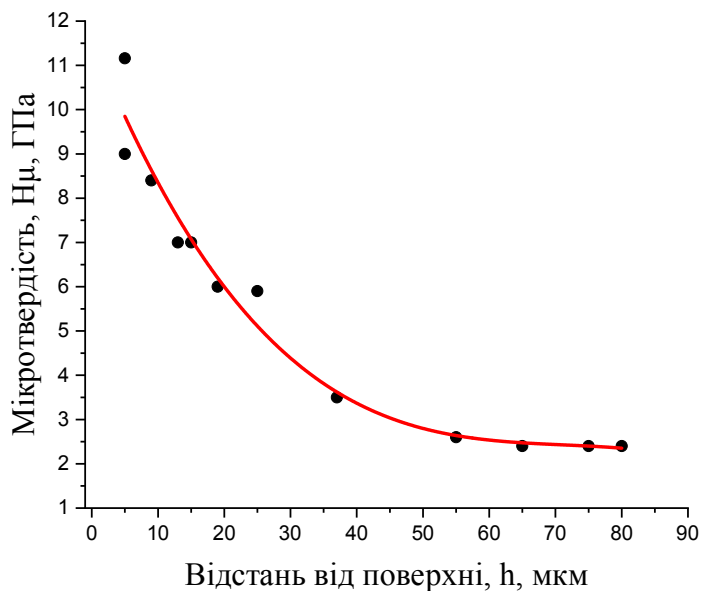


Рисунок 3.15 – Мікротвердість поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Al та дробоструменевої обробки протягом 120 с

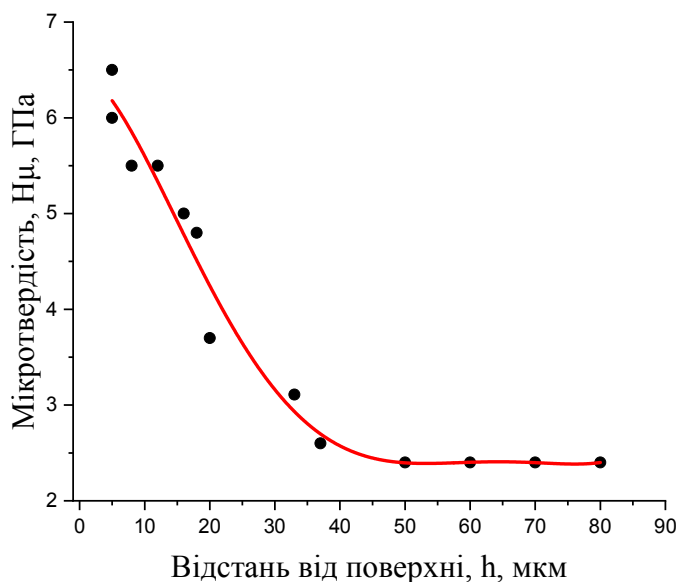


Рисунок 3.16 – Мікротвердість поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Si та дробоструменевої обробки протягом 120 с

При обстрілі протягом 120 секунд у легованого алюмінієм зразка становить 11,16 ГПа. У зразка з електроіскровим легуванням міддю та ДО протягом 120 секунд максимальне значення мікротвердості становить 6,5 ГПа. Розподіл мікротвердості вглиб зразка після ДО протягом 180 секунд наведено на рисунку 3.17 та рисунку 3.18.

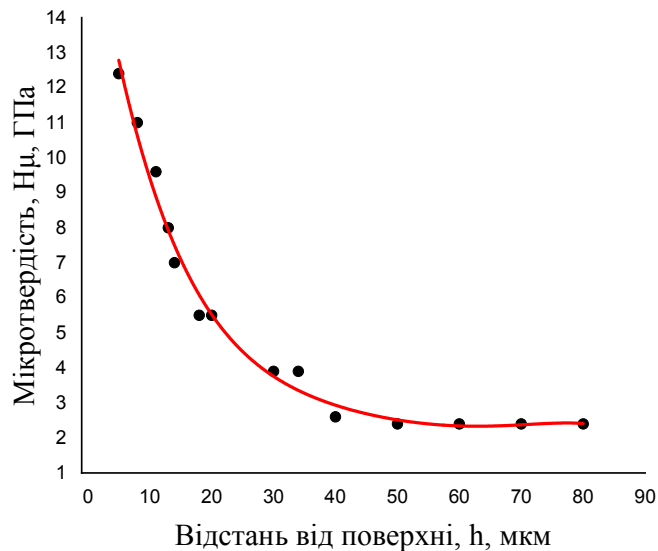


Рисунок 3.17 – Мікротвердість поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Al та дробоструменевої обробки протягом 180 с

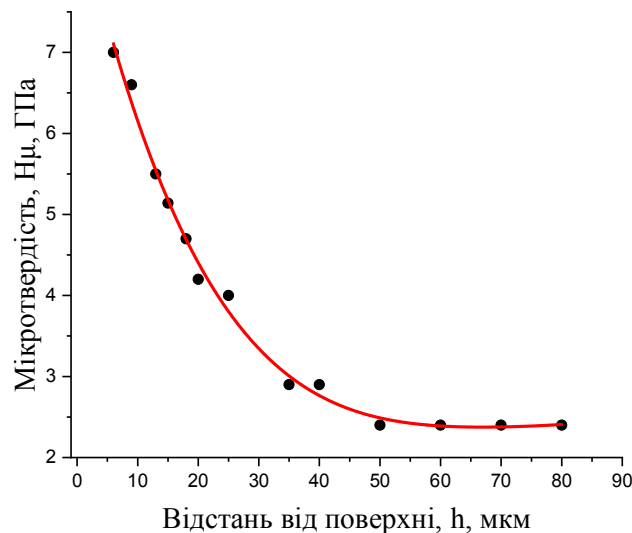


Рисунок 3.18 – Мікротвердість поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ Cu та дробоструменевої обробки протягом 180 с

Значення максимальної мікротвердості для зразка, легованого алюмінієм становить 12,4 ГПа. Коефіцієнт зміцнення становить 5,1. Для мідного зразка максимальне значення мікротвердості підвищується до 7 ГПа, а коефіцієнт зміцнення становить 2,9.

На рисунку 3.19 зображена дифрактограма поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм та ДО.

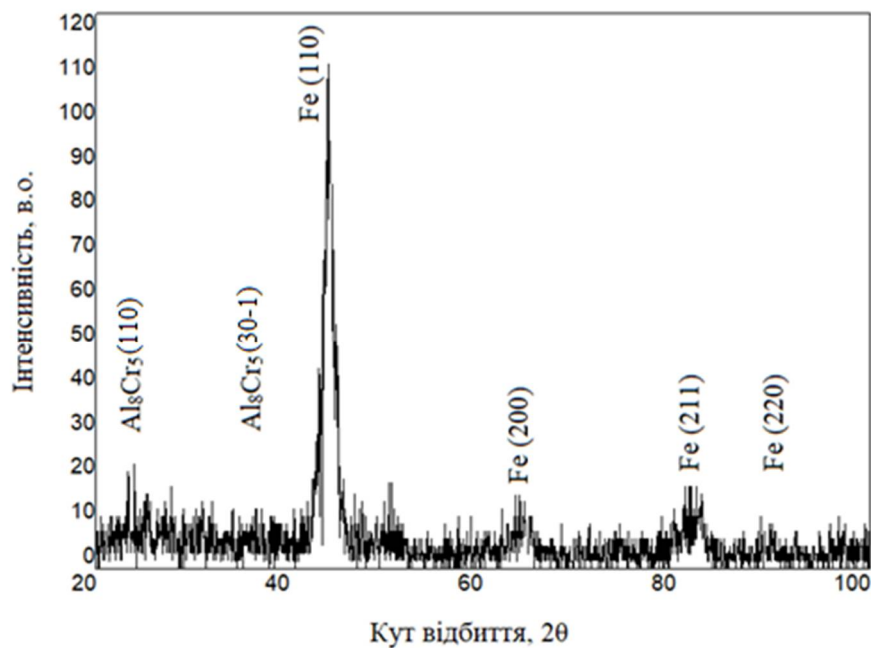


Рисунок 3.19 – Дифрактограма поверхневої зони сталі ХВГ після ЕІЛ алюмінієм та ДО протягом 180 с

Аналіз дифрактограми після проведення рентгеноструктурного аналізу свідчить про те, що значних змін в фазовому складі зразка зі сталі ХВГ після електроіскрового легування алюмінієм та ДО не відбулось, або параметри зйомки не дозволили їх зафіксувати.

У зразка із аналогічної сталі після електроіскрового легування міддю та ДО також змін у фазовому складі помічено не було(рис. 3.20).

На рисунку 3.21 зображено графік інтенсивності зношування протягом випробування на тертя.

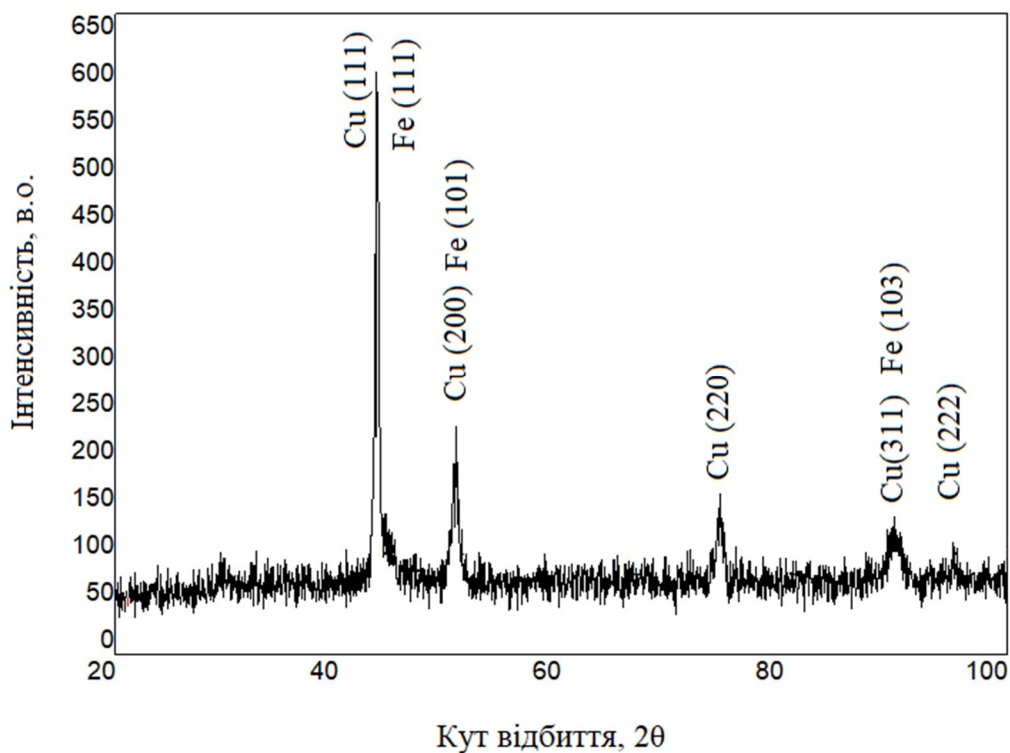


Рисунок 3.20 – Дифрактограма поверхневої зони сталі ХВГ після ЕІЛ міддю та ДО протягом 180 с

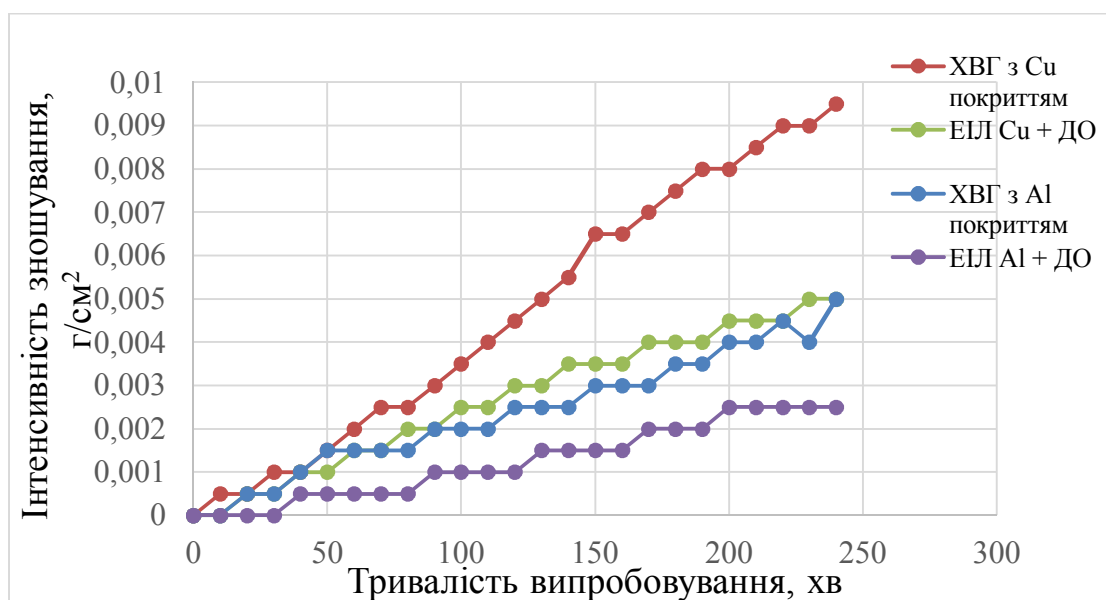


Рисунок 3.21 – Інтенсивність зношування протягом випробування на тертя після ЕІЛ та ЕІЛ+ ДО (180 с)

З рисунку 3.21 видно що проведення дробоструменевої обробки дозволяє підвищити значення зносостійкості ще в два рази відносно покриттів без дробоструменевої обробки та в загальному відносно сталі ХВГ зносостійкість зразка, оброблюваного алюмінієм підвищується в 15,2 рази, а зносостійкість оброблюваного міддю зразка збільшується до 7,6 разів.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Встановлена можливість створення шарів товщиною до 24 мкм під час ЕІЛ зразків сталі ХВГ міддю та алюмінієм.
2. Мікротвердість мідного покриття складає 5 ГПа, а алюмінієвого 4,9 ГПа за рахунок формування твердих розчинів обмеженої розчинності між залізом та металами легувальних анодів.
3. Гравіметричний аналіз дозволив встановити, що протягом ЕІЛ як міддю, так і алюмінієм крихкого руйнування покриттів не спостерігається. Коефіцієнт масоперенесення міді є більшим (57,14%), ніж алюмінію (40%).
4. Виявлено, що дробоструменова обробка електроіскрових покриттів дозволяє зробити їх більш рівномірними на поверхні сталі ХВГ. При цьому відбувається зміна характеру розподілу мікротвердості вглиб зразка. У випадку легування алюмінієм відбувається підвищення значень мікротвердості від 5 ГПа після ЕІЛ до 12,4 ГПа, а при легуванні алюмінієм від 4,48 до 7 ГПа після бомбардування сталевим дробом.
5. Випробовування на зносостійкість показало що після електроіскрового легування міддю зносостійкість зростає у 4 рази, а для обробленого алюмінієм зразка у 7,6 разів. Проведення дробоструменевої обробки дозволяє підвищити зносостійкість після електроіскрового легування обома анодами ще в 2 рази.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Стартап-проект має на меті впровадження новітніх технологій у всі сфери діяльності людини від малого, середнього до великого бізнесу. Основна ідея проекту наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту [43]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка захисного покриття на металевих виробах(металевих деталях автомобілів, робота з дрібними запчастинами)	1) Електропровідне захисне покриття для електроніки	1) Низька тривалість процесу та висока продуктивність; 2) Простота процесу; 3) Дешевизна процесу; 4) Екологічна чистота процесу. 5) Зміцнене надтонке покриття.
	2) Зносостійке покриття на металевому корпусі	
	3) Відновлення попередньо легованих металевих пластин	
	4) Штамповка візерунків на попередньо легованому металі	

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;

- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

п/п	Характеристики ідеї	(потенційні) послуги конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Інженерні послуги	має	має	Має	має	-	-	+
2.	Дослідження та аналіз	має	немає	Має	немає	-	-	+
3.	Фінансова звітність та консалтингові послуги	має	має	немає	немає	-	-	+
4.	Розробка програмного забезпечення	має	немає	немає	немає	+	-	-
5.	Креативний дизайн	немає	немає	немає	немає	-	+	-
6.	Послуги архітектора	немає	має	немає	має	+	-	-

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційних послуг, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Головна ідея зміцнення деталей представлена у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту [44]

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Нанесення захисного зміцненого, тонкого шару	Ерозія матеріалу аноду на поверхню матеріалу при ЕІЛ та наступна дробоструменева обробка	Дані технології існують. В розробці/доробці їх немає необхідності.	Так, дані технології доступні.

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, та методи реалізації є можливими.

4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Планова собівартість виконання дослідження, як один з найважливіших економічних показників, відображає рівень матеріальних та трудових витрат, а її планування забезпечує отримання необхідних результатів при мінімальних витратах. Обчислення собівартості дослідження здійснюється за наступними калькуляційними статтями:

- 1) витрати на основні матеріали;
- 2) витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експерименту;
- 3) витрати на заробітну платню персоналу;
- 4) відрахування в соцстрах;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) витрати на послуги сторонніх організацій;
- 7) інші невраховані прямі витрати по темі;
- 8) накладні витрати.

4.3.1 Витрати на основні матеріали

Визначення витрат на матеріали, які необхідні для проведення експерименту, проводяться виходячи із вартості та необхідної кількості матеріалів. Дані про основні матеріали, які необхідні для проведення експерименту наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
1. Чистий Cu	кг.	0,1	400	40
2. Чистий Al	кг.	0,1	147	14,7
3. Сталь ХВГ	кг.	0,2	140	24
4. Дроб	кг.	8	30	240
5. Шліфувальний папір	шт.	10	10	100
6. Спирт Етиловий 96%	літр	0,3	200	60
7. Азотна кислота	літр	0,04	17	0,68
В цілому				479,38

Транспортні витрати приймаємо в розмірі 10% від ринкової вартості:
 $479,38 \times 0,1 = 47,938$ грн.

Повна сума витрат на матеріали: $479,38 + 47,938 = 527,318$ грн.

4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на вже наявному обладнанні. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносяться до накладних витрат.

4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова

Витрати за цією статтею складаються з основного та додаткового фонду заробітної плати.

Розрахунок витрат основної заробітної платні ведеться на основі даних по трудомісткості виконання окремих етапів НДР та денної заробітної платні виконавців (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Розрахунок денної заробітної платні виконавців теми

Виконавець	Місячний оклад, грн	Денна ЗП, грн.
Відповідальний виконавець теми, провідний науковий співробітник	9380	446,66
Інженер-дослідник	5670	270
механік	4323	205,85

Тривалість різних етапів виконання НДР наведена в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Трудомісткість різних етапів виконання науково дослідницької роботи

Етапи НДР	Трудомісткість, людино/день		
	Відповідальний виконавець теми, науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лаборант
1. Постановка задачі та визначення напрямів дослідження	2	2	-

Продовження таблиці 4.6

Етапи НДР	Трудомісткість, людино/день		
	Відповідальний виконавець теми, науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лаборант
2.Вивчення літератури	6	14	-
3.Розробка методики проведення робіт	5	10	6
4.Підготовка зразків	-	-	7
5.Підготовка обладнання	-	2	5
6. Проведення гравіметричного, мікроструктурного та мікродюрOMETричного аналізу	-	10	10
7.Обробка експериментальних результатів	-	22	6
8.Обговорення результатів	4	5	5
9.Оформлення результатів	3	14	6
Разом	20	79	45

Величина прямого фонду заробітної платні (ПФЗП) визначається як добуток трuдомісткості на денну заробітну платню виконавця:

$$\text{ПФЗП} = 20 \times 446,66 + 79 \times 270 + 45 \times 205,85 = 39526,45 \text{ грн.}$$

$$\text{ПФЗП} = 39526,45 \text{ грн.}$$

Додатковий фонд заробітної платні (ДФЗП) складає 30 % від прямого фонду.

$$\text{ДФЗП} = \text{ПФЗП} \cdot 0,3 = 11857,94 \text{ грн.}$$

Сума прямого та додаткового фондів заробітної платні:

$$\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП} = 39526,45 + 11857,94 = 51384,39 \text{ грн.}$$

4.3.4 Відрахування на соціальні заходи

На сьогоднішній день відрахування на соціальні заходи у відсотках від суми прямого та додаткового фондів заробітної плати, тобто від повного фонду заробітної плати, складають 22%.

Таким чином, відрахування на соціальні заходи складуть:

$$B_c = (\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП}) \times 0,22 = 49713,04 \times 0,22 = 11304,5647 \text{ грн.}$$

4.3.5 Витрати на службові відрядження

Згідно з планом даної НДР службові відрядження не передбачаються.

4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій

Згідно з планом даної НДР послуги сторонніх організацій не передбачаються.

4.3.7 Інші прямі невраховані витрати

Витрати по цій статті визначаються у розмірі 10% від суми всіх врахованих планових прямих витрат по темі:

$$П_n = (51384,39 + 11304,5647 + 527,318) \times 0,1 = 6321,62727 \text{ грн.}$$

4.3.8 Накладні витрати

До накладних витрат відносять:

- адміністративну заробітну плату – управлінського персоналу, господарського та обслуговуючого персоналу з нарахуванням органам страхування;
- витрати на придбання експериментального обладнання та приладів;
- витрати по охороні праці та на техніку безпеки;
- амортизація приладів, устаткування та установок;
- витрати на воєнізовану охорону;
- інші загальногосподарські та дослідницькі витрати, тощо.

За нормативами для КПІ ім. Ігоря Сікорського величина накладних витрат складає 20 % від основної заробітної платні персоналу науково дослідної роботи: $H_v = 39526,45 \times 0,20 = 7905,29$ грн.

4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження

Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Планова кошторисна вартість НДР по темі

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Пряма та додаткова зарплатня персоналу	$Z_{\text{пд}}$	51384,39	66,46%	

Продовження таблиці 4.7

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Відрахування на соціальні заходи	Вс	11304,56	14,62%	37,1 % від ЗП
Витрати на матеріали	См	527,318	0,52%	За розрахунком
Витрати на обладнання	Соб	-	-	Не планується
Витрати на службові відрядження	Св	-	-	Не планується
Роботи та послуги сторонніх організацій	Сі	-	-	Не планується
Інші невраховані прямі витрати по темі	Пн	6321,63	8,16%	10% від врахованих прямих витрат
Накладні витрати	Нв	7905,29	10,22%	20 % від основної заробітної платні
Разом	З	77443,18	100%	67,1%

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання НДР.

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап – проекту

Основні оператори ринку: Основними операторами ринку є державні та приватні конструкторські відділи, які виконують роботу тільки на власні підприємствах та організації, що виконують консалтингові послуги в сфері інжинірингу, аудиту та аутсорсингу.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту вказана в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап – проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	20
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Досить важко територіально знайти місце з мінімальною кількістю конкурентів;
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Характеристика потенційних клієнтів стартап – проекту [45]

Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Уникнення внутрішніх пошкоджень техніки та деталей (механічні, термічні, корозійні)	Автомобільні запчастини. Дрібні та великі металеві запчастини	-новітня техніка та технології, які застосовуються; -швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; -кваліфікований персонал; -гарантія якості; -надійність, висока міцність,	<ul style="list-style-type: none"> ●якість; ●допустима собівартість; ●надання чітких гарантій; ●швидкість виконання

Ми можемо спостерігати, що для запровадження стартап-проекту необхідно мати відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів, а саме новітню техніку і технології, які потрібно розвивати з напливом кількості цільової групи.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості. Усі фактори загроз вказані у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Фактори загроз [46]

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток.	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань;
3	Відсутність можливості отримання знижок при закупівлях внаслідок невеликих обсягів	Велика вартість на закупівлю сировинної продукції та малий ринок збуту готової	- втрати ліквідності; - втрати платоспроможності; - втрати фінансової рівноваги;
4	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання.

Для визначення потенційних клієнтів важливо провести аналіз фактору можливостей (табл. 4.11), та визначити сильні сторони проекту.

Таблиця 4.11 – Фактори можливостей [47]

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість завербування високо кваліфікаційних спеціалістів; Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- Конкурент, що вже є у галузі;
- Потенційні конкуренти;
- Наявність товарів-замінників;
- Постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- Споживачі.

Таким чином, ми визначили середні значення впливу появи нових

конкурентів, сили впливу товарів-замінників, сили впливу покупців, сили впливу постачальників, інтенсивності конкуренції між фірмами [48].

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.12 – SWOT - аналіз стартап – проекту [49]

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
<ul style="list-style-type: none"> ● молодий і кваліфікований колектив; ● порівняно недорогі початкові матеріали; ● дуже широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі; ● послуга дешевша наявних на ринку аналогів; ● для впровадження послуги потрібно відносно мало затрат. 	<ul style="list-style-type: none"> ● брак власного устаткування; ● додаткові транспортні витрати; ● наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Продовження таблиці 4.12

Можливості (О):	Загрози (Т):
<ul style="list-style-type: none"> ● посилення позиції на ринку; ● вихід на нові сегменти ринку; ● збільшення різноманітності у взаємозалежних продуктах; ● підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу. 	<ul style="list-style-type: none"> ● зростаюче конкурентний тиск; ● швидке копіювання конкурентами; ● поява нових конкурентів з товарами-замінниками; ● захоплені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод поверхневої обробки деталей дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію [50].

4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва (засобів і предметів праці); по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення

товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- Проникнення на ринок;
- Розвиток ринку;
- Розробка товару;
- Диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації [51].

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект не є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап – проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.14 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [52].

Таблиця 4.14 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Зміцнення металевих деталей та техніки	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Комбінований метод обробки поверхні, що призведе до більшої міцності; швидкість обробки.

Задля розроблення маркетингової стратегії варто зробити опис трьох рівнів моделі послуги. Послуга за задумом передбачає зміцнення металевих частин техніки, деталей, що дозволить збільшити його зносостійкість, та стійкість до впливу навколишнього середовища.

Характеристики: товщина легованого шару (30 – 100) мкм, збільшення мікротвердості, зносостійкості, корозійної стійкості; не впливає на загальну масу корпусу.

До переваг серед конкурентів, можна віднести попередньо легований шар на поверхню металевих корпусу перед дробоструменевою обробкою, який збільшить мікротвердість у (2 – 4) рази. Також дешевизна процесу, адже технологія є досить простою, тому у порівнянні з конкурентами ціна на продукцію зменшиться у 1,5 рази.

4.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й внести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах [53].

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами [53].

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення різних деталей та матеріалів. Також важливо шляхом реклами передати всі найкраще сторони та можливості, які покажуть весь спектр послуг, якими споживач зможе скористуватись, звернувшись до підприємства.

4.8 Висновки до розділу 4

1. Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей. Дана комбінована обробка дозволить значно підвищити міцність та зносостійкість деталі. Також вихід більш дешевого та якісного покриття відразу приверне увагу користувачів.

2. При аналізі ринку виявлено, що бар'єром для успішного розвитку стартап проекту може стати продукція-замінники від конкурентів, а також бренд, який вони створили. Також використання конкурентами новітніх технологій може призвести до зменшення кількості користувачів. В загальному, стартап - проект має переваги над конкурентами, тому має місце до подальшої імплементації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою розділу охорони праці є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, за яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження функціональних покриттів на поверхні технічного заліза, які були нанесені багатостадійним електроіскровим легуванням Cu-, Al- анодами, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Аналіз параметрів приміщення

Робота виконувалася на кафедрі фізики металів (КПМ ім. Ігоря Сікорського) в лабораторії електроіскрового легування (ЕІЛ) № 036. Схематичне зображення лабораторії, а також розташування всіх елементів представлено на рисунку 5.1. Було проведено вимірювання приміщення лабораторії, які наведені таблиці 5.1. Вся робота проводилася в лабораторії № 036 (А), тому для розрахунків була обрана дана кімната.

Таблиця 5.1 – Параметри науково–дослідної лабораторії

Характеристика	Виміряні дані
Довжина, м	7
Ширина, м	6
Висота, м	3,8
Площа, м ²	42
Об'єм м ³	159,6
Площа на одну особу, м ²	6
Об'єм на одну особу м ³	42

Проведемо розрахунки площі та об'єму:

Площа лабораторії складає: $S = a \cdot b = 42,8 = 11,2 \text{ м}^2$.

Об'єм лабораторії складає: $V=a \cdot b \cdot c=4 \cdot 2,8 \cdot 3,8=42,56 \text{ м}^3$.

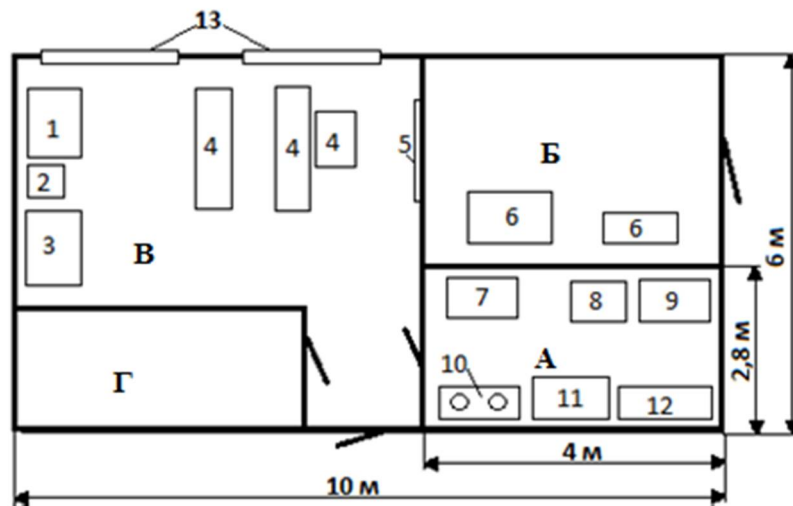
Згідно зі ДБН В.2.2 -15-2015 [54] норма площі на одну особу становить $4,5 \text{ м}^2$, а норма об'єму приміщення на одну особу – 15 м^3 .

Розрахуємо площу та об'єм на одну особу для даної аудиторії, за умовою, що кількість працюючих становить дві особи:

$$S_p=11,2/2=5,6 \text{ м}^2;$$

$$V_p=42,56/2=21,28 \text{ м}^3$$

Тобто, лабораторія 036 (А) - 9, згідно з СНиП 2.09.02-85 [55], відповідає нормам.



1 – твердомір ПМТ-3, 2 – тумба, 3 – комп'ютер, 4 – робочі столи, 5 – дошка, 6 – рентгенівська установка УРС-2, 7 – стіл для шліфування, 8 – прилад для вимірювання зносостійкості, 9 – прилад «Елитрон – 26», 10 – полірувальні круги, 11 – стіл, 12 – шафа, 13 – вікна.

Рисунок 5.1 – Схема лабораторії електроіскрового легування 036-9

5.2 Аналіз мікроклімату приміщення

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт – І б. Ця категорія містить легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год . Результати дослідження та нормовані

величини параметрів мікроклімату в робочій зоні лабораторії № 040 показані в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Мікроклімат лабораторії та ДСН 3.3.6.042-99

Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювань	Висновок
			Оптимальне	Допустиме		
Легка 1 б	Температура, °С	Теплий	22-24	19-30	26	Допустимо
		Холод-ний	21-23	17-25	24	Допустимо
	Відносна вологість повітря, %	Теплий	40-60	60	55	Оптимально
		Холод-ний	40-60	<75	65	Допустимо
	Швидкість руху повітря, м/с	Теплий	0,2	0,1-0,3	0,2	Оптимально
		Холод-ний	0,1	≤0,2	0,15	Допустимо

Беручи до уваги вище написане можна зробити висновок, що мікроклімат в лабораторії не є оптимальним, але виміряні дані відповідають вимогам санітарних норм, швидкість руху повітря та відносна вологість в теплий період року задовольняють вимоги ДСН 3.3.6.042-99 та є оптимальними.

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення буває трьох видів: суміщене, штучне і природне. Природне у свою чергу поділяється на верхнє, бічне та комбіноване. Штучне – місцеве і загальне.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі

зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

У лабораторії здійснюється природне бокове освітлення (вікна з північного боку) та штучне. Відстань від вікна до місця основної роботи складає 1 м.

Освітлення, що забезпечує нормальні зорові роботи, є важливим чинником в організації і проведенні НДР, тому що при поганому освітленні підвищується втомленість, а це негативно впливає на здоров'я людини.

Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (24 одиниці у лабораторії) [56].

5.4 Аналіз наявності шуму та вібрації в приміщенні

Виробничий шум – це сукупність різних за гучністю і тоном звуків, які виникають у повітряному середовищі. Розрізняють шуми:

- механічний (під час роботи конвеєра, виконання завантажувально-розвантажувальних робіт);
- електромагнітний (під час роботи електромагнітних пристроїв змінного струму);
- аеродинамічний (у разі витоку газів, руху повітря у вентиляційних камерах);
- гідродинамічний (під час руху води і різноманітних рідин);
- повітряний (розповсюджується в повітряному середовищі);
- структурний (внаслідок коливання конструкцій стін, перекриттів, перегородок будівлі).

Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елітрон-26», що видає певний шум під час роботи, також шум надходив у процесі дослідження зразків на зносостійкість і під час дробоструменевої обробки.

У даному випадку наявний імпульсний шум. Так як робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від шуму використовували засоби індивідуального захисту – біруші.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 [57]. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів.

Загальну технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на такі типи:

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- на робочих місцях складів, їдалень, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;
- на робочих місцях заводоуправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщень, робочих кімнат та інших приміщень для працівників розумової праці.

За джерелом виникнення локальну вібрацію поділяють на таку, що передається від:

- ручних машин або ручного механізованого інструменту, органів керування машинами та устаткуванням;
- ручних інструментів без двигунів (наприклад, рихтувальні молотки) та деталей, які обробляються.

Під час дії вібрації на організм людини спостерігаються зміни в діяльності серцевої та нервової систем, спазм судин, зміни у суглобах, що призводить до обмеження їх рухомості. Якщо спостерігається нетривала дія вібрації, то працівник передчасно втомлюється, при цьому продуктивність його праці знижується. Тривала дія вібрації може спричинити професійне захворювання - вібраційну хворобу. Під час розвитку цієї хвороби з'являється оніміння, відчуття

повзання мурашок, біль у суглобах тощо. Слід зазначити, що ефективне лікування вібраційної хвороби можливе лише на ранній стадії розвитку. Особливо небезпечна вібрація робочих місць з частотою, яка є резонансною з частотою коливання окремих органів чи частин тіла людини, що може призвести до їх механічного ушкодження. Для більшості внутрішніх органів людини частота власних коливань становить (6 – 12) Гц. Ступінь та характер впливу вібрації на організм людини залежить від виду та параметрів, а також від напрямку її дії.

Вібрації спостерігалися на установках для стирання, ЕІЛ та дробоструменевої обробки.

Заходи та засоби захисту від вібрації за організаційною ознакою поділяються на колективні та індивідуальні. Колективні заходи та засоби віброзахисту можна розподілити за такими напрямками:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення;
- зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела;
- організаційно-технічні заходи;
- лікувально-профілактичні заходи.

5.5 Розрахунок вентиляції

Конструкція місцевих відсмоктувачів вибирається в залежності від виду технологічного процесу, обладнання та оснащення. Вона повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря на робочому місці при мінімальних витратах повітря, яке видаляється, запобігати розповсюдженню шкідливих речовин по об'єму приміщення, не заважати виконанню технологічних операцій. Прив'язка відсмоктувачів до обладнання повинна здійснюватись з урахуванням максимально можливого приближення його до джерела шкідливих виділень. Типові схеми та конструкції відсмоктувачів, а також методи їх розрахунку узагальнено в методичних вказівках до проектування [58].

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела

виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. У цьому випадку:

$$L_M = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \quad (5.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, м/с .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою.

При застосуванні електродугових та плазових технологій значення V_0 знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x ($0,5 \text{ м/с}$) у зоні електричної дуги на відстані X ($0,45 \text{ м}$) від центра всмоктуючого отвору:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot (X/d)^2, \quad (5.2)$$

де d – діаметр вентиляційного отвору, м .

На рис. 5.3 наведено принципову схему місцевої вентиляції необхідної для проведення ЕІЛ.

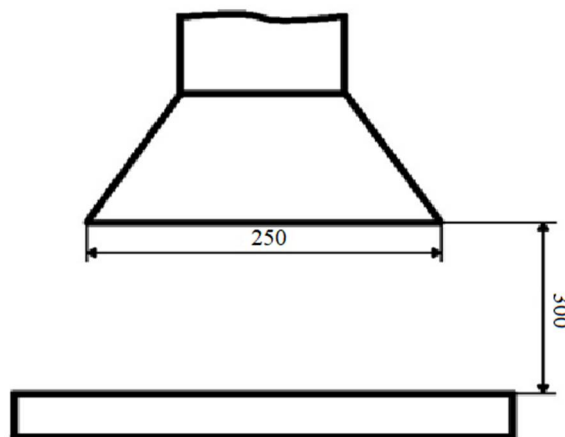


Рисунок 5.3 – Схема місцевої вентиляції

У результаті розрахунків встановлено, що швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі V_0 має становити 11,52 м/с, а об'єм повітря, що повинно бути видалене місцевою вентиляцією $L_m - 1036 \text{ м}^3/\text{год}$.

5.6 Виробниче випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відео-дисплейних терміналів, ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [59].

При роботі з ЕОМ, яка входить в устаткування, виникає небезпека впливу на організм робітника: невикористаного рентгенівського випромінювання, ультрафіолетового випромінювання, електростатичного поля.

Для попередження соматичних та генетичних наслідків для побутової радіоелектронної апаратури встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання, яке не повинно перевищувати $2,78 \times 10^{-12} \text{ мкР/с}$ (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від 75 зовнішньої поверхні, яка обернена до оператора. Потужність експозиційної дози НРВ влюбій точці простору на відстані 0,05 м від корпусу установки не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при робочому тижні 41 година. Враховуючи що робота більшою частиною проводиться за ЕОМ, запропоновано щоб час роботи за монітором не перевищував 4 години за зміну, з технологічними перервами.

5.7 Електробезпека

Відповідно діючим правилам побудови електроустановок ППЕ-97 приміщення лабораторій з точки зору безпеки враження людини електричним струмом відноситься до приміщень без підвищеної безпеки електротравм [60]. Це сухі приміщення з температурою повітря $18^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$ та струмо -

непровідною підлогою. Електроустановки, що використовуються при виконанні даної НДР, живляться напругою 220 В змінного струму частотою 50 Гц. Причинами враження електричним струмом під час виконання трудового процесу з електрообладнанням є:

- випадковий дотик до струмоведучих частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів недоступності або безвідповідальне відношення до безпеки персоналу;
- дотик до не струмо-ведучих частин електроприладів, які випадково потрапили під напругу через ушкодження ізоляції чи іншого ушкодження;
- потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключених електроприладах через помилкове їх включення.

Вплив електричного струму на організм може мати дуже небезпечні для здоров'я людини наслідки і навіть привести до смерті. Імовірність смертельного результату при поразці електричним струмом вище, ніж при інших причинах травматизму.

Величина струму, що протікає через яку-небудь ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного результату [61].

До напруги 42 В найбільш небезпечний перемінний струм, а більше 42 В вплив однаковий як постійного так і перемінного струму.

Найбільш небезпечна частота в 50 Гц...60 Гц.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;

- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

У лабораторії, де проводилися дослідження, є наступні електроприлади: ПЕОМ, «Елитрон-26», ПМТ-3, полірувальні круги, прилад для вимірювання зносостійкості.

У лабораторії вірно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість дотику до корпусів, електроустаткування і приладів [62].

5.8 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайній ситуації

Події, при яких порушуються нормальні умови життя і діяльність людей та які можуть призвести, або призводять до загибелі людей та значних матеріальних збитків називаються надзвичайними ситуаціями. Вагомість надзвичайної ситуації визначається передусім кількістю жертв та ступенем впливу на оточуюче середовище.

Національний класифікатор ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних ситуацій" (КНС) – один зі складників комплексу національних класифікаторів. У класифікаторі зазначено впорядковані назви сучасних надзвичайних ситуацій (НС), які можуть виникнути в Україні, та їхні коди.

Надзвичайні ситуації класифікують за характером походження, ступенем поширення, розміром людських втрат і матеріальних збитків.

Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначають такі види надзвичайних ситуацій:

- надзвичайна ситуація техногенного характеру;
- надзвичайна ситуація природного;
- надзвичайна ситуація соціального;

- надзвичайна ситуація воєнного характеру.

Залежно від обсягів заподіяних надзвичайною ситуацією наслідків, кількості постраждалих і загиблих, обсягів технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації її наслідків, визначають такі рівні надзвичайних ситуацій:

- державний;
- регіональний;
- місцевий;
- об'єктовий.

Блок ідентифікації має ієрархічну систему класифікації з трьома рівнями класифікації: клас, підклас, група та цифровим кодом завдовжки 5 розрядів. У ДКНС прийнято метод послідовного кодування.

Загальна структура кодового позначення ДКНС відповідає рис. 5.3

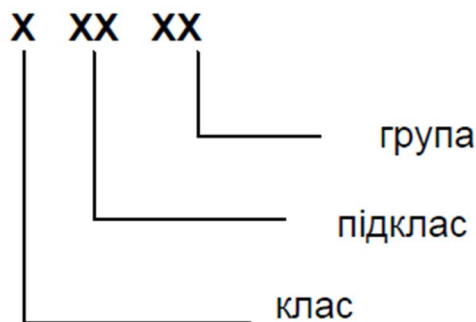


Рисунок 5.3 – Загальна структура кодового позначення ДКНС

Надзвичайна ситуація яка відбулася унаслідок пожеж чи вибухів має код 10200.

Запобігання виникненню надзвичайної ситуації – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення НС на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи,

досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій із метою недопущення їх переростання у НС або пом'якшення її можливих наслідків. Зазначені функції запобігання щодо НС техногенного та природного характеру в нашій країні виконує єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організовують проведення роботи із запобігання НС техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

Проаналізуємо імовірність виникнення пожежі в приміщенні, де проводиться науково-дослідницька робота.

У лабораторії ймовірне виникнення пожежі, не велика, але є. Так як досліди проводять з рідким металом та заливкою у форми, є ймовірність розлиття його на підлогу чи на інші матеріали.

Пожежа відноситься до 1 класу надзвичайних ситуацій – ситуацій техногенного характеру.

Лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії Г.

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- електроустановки та їхня проводка;
- паркет та штори;
- шафи та паперові документи, що знаходяться в них.

Виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустаткування;
- необережне звертання з вогнем;
- ремонт устаткування на ходу;
- неправильне користування устаткуванням.

5.8.1 Пожежна безпека

Для запобігання пожеж необхідно виключити перераховані недоліки і строго дотримуватись правил протипожежної безпеки, усунути умови виникнення та мінімізувати її наслідки. У випадку пожежі на електроустановці, що знаходиться під напругою виникле полум'я не гаситься водою, а використовується вуглекислотний чи вуглекислотноброметиловий вогнегасник.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-5 (ГОСТ 15150), а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1). Також в корпусі, на кожному поверсі є план евакуації.

Основними заходами по пожежній безпеці є:

- регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації;
- перевірка виправності електричної проводки;
- щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500В; обережне відношення з легкоплавкими речовинами.

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [63].

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків .

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин і матеріалів, пожежі за ГОСТ 27331-87 поділяються на відповідні класи та підкласи. Відповідно до ОНТП 24-86 [64] лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії В, тому що в ній знаходяться тверді та важко горючі матеріали та вона одночасно не належить до категорій А,Б.

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- електроустановки та їхня проводка;
- паркет та штори;
- шафи та паперові документи, що знаходяться в них.

Виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустаткування;
- необережне звертання з вогнем;
- ремонт устаткування на ходу;
- неправильне користування устаткуванням.

Для запобігання пожеж необхідно виключити перераховані недоліки і строго дотримуватись правил протипожежної безпеки [65].

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-1 (*ГОСТ* 12037), а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1).

Основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500 В.

План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.2.

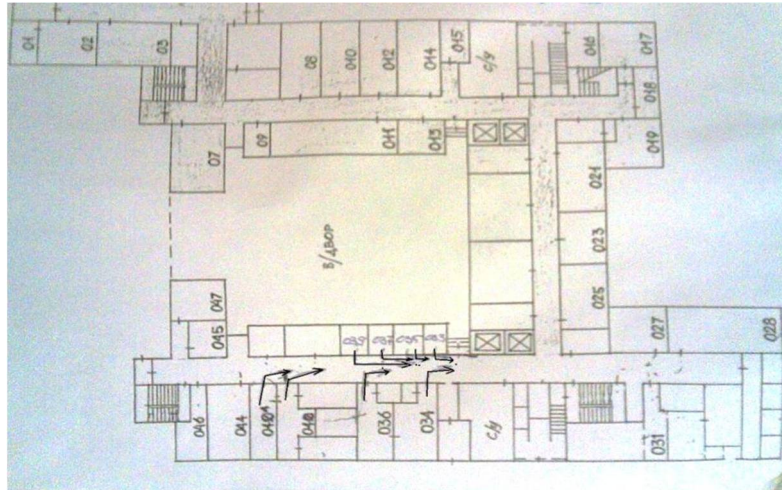


Рисунок 5.2 – План евакуації

5.8.2 Безпека в аварійних ситуаціях

У випадку пробоею електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника ділянки.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

5.9 Висновки до розділу 5

1. Проведено розрахунок вентиляції для забезпечення чистоти повітря в лабораторії при проведенні електроіскрового легування.
2. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму та умов, що можуть призвести до травмування в процесі створення легованого шару електроіскровим легуванням.
3. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що електроіскрове легування сталі ХВГ Al- та Cu-анодами дозволяє створити покриття товщиною 10 мкм до 24 мкм з мікротвердістю (4,9 - 7) ГПа внаслідок утворення твердих розчинів матеріалів електродів та інтерметаліду Al_8Cr_5 .
2. За результатами гравіметричного аналізу коефіцієнт масоперенесення під час легування міддю (57,14 %) перевищує значення для процесу ЕІЛ алюмінієм (40 %).
3. Дробоструменева обробка, проведена після електроіскрового легування, дозволяє надати покриттям рівномірності та змінити характер розподілу мікротвердості у поверхневому шарі сталі ХВГ. Для алюмінієвого покриття мікротвердість зростає від 4,9 ГПа до 12,4 ГПа, а для мідного від 4,48 ГПа до 7 ГПа при збільшенні часу дробоструменевої обробки від 60 с до 180 с.
4. Випробовування на зносостійкість показало що після електроіскрового легування міддю зносостійкість зростає у 4 рази, а для обробленого алюмінієм зразка у 7,6 разів. Проведення дробоструменевої обробки дозволяє підвищити зносостійкість після електроіскрового легування для Al покриття у 15,2 рази та для Cu покриття у 7,6 разів.
5. Розробка даного стартап проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та надійних деталей.

6. Було проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму та умов, що можуть призвести до травмування в процесі проведення обробок. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм.

CONCLUSIONS

1. Found that electro-sparks alloying of KHVG steel Al- and Cu-anodes allows a coating thickness of 10 microns to 24 microns with microhardness (4.9 - 5.5) GPa due to formation of solid solution electrode material and intermetallide Al_8Cr_5
2. According to the results of gravimetric analysis, the mass transfer coefficient during copper alloying (57.14%) exceeds the value for the electro-sparks alloying process by aluminum (40%).
3. Shot blasting (60 s, 5 atm.) conducted after electro-spark alloying, allows to give the coatings uniformity and change the character of microhardness distribution in the surface layer of KHVG steel. For aluminum coating, the microhardness increases from 4.9 GPa to 12.4 GPa, and for copper from 4.48 GPa to 7 GPa with increasing shot blasting time from 60 s to 180 s.
4. The wear test showed that after electrospinning with copper, the wear resistance increases by 4 times and for the aluminum treated sample by 7.6 times. Conducting shot blasting allows to increase the wear resistance after electrosark doping with both anodes by 2 more times.
5. The development of this startup project is quite promising, as the modern market requires the use of more durable and reliable parts.
6. The analysis of the harmful and dangerous factors at which there is a risk of damage to the body and conditions that can lead to injury during the treatment. Microclimate, workplace organization, lighting in the laboratory meet the requirements of sanitary standards.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мулин Ю.И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю.И. Мулин, А.Д. Верхотуров – Владивосток. Дальнаука. 1999. – 106с.
2. Sizonenko O. N. Mezhdunarodnaja konferencija. Sovremennoe materialovedenie: dostizhenija i problem / O. N. Sizonenko – Kiev: Akadempriodika, 2005.
3. Саранцев В. В. Технология и оборудование для нанесения композиционных электроискровых покрытий на рабочие поверхности деталей машин и приборов [Электронный ресурс] / Вадим Владимирович Саранцев – Режим доступа до ресурсу: <http://kme.bntu.by/nauka/nauchnye-razrabotki/tekhnologiya-elektroiskrovogo-legirovaniya.html>.
4. Li X. G. Research progress of reduced activation ferritic/martensitic steels / X. G. Li, Q. Z. Yan, C. C. Ge. // Journal of Iron and Steel Research. – 2009. – №21. – p. 6–12.
5. Верхотуров А. Д. Научные основы формирования легированного слоя и создания электродных материалов при электроискровом легировании: автореф. дисс. на соискание учен. степени докт. техн. наук : спец. 05.16.01 “Металловедение и термическая обработка металлов” / А. Д. Верхотуров. – Киев, 1984. – 54, [1] с.
6. Manakova O. S. On the application of dispersion hardened SHS electrode materials based on (Ti, Zr) carbide using electrospark deposition / O. S. Manakova, A. E. Kudryashov, E. A. Levashov. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2015. – №51. – p. 413–421.
7. Дальский Ф. М. Обработка конструкционных материалов / Ф. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркина. – Москва: Машиностроение, 2004. – 512 с.
8. Мелихов С. Г. Методы нанесения упрочняющих покрытий / С. Г. Мелихов. – Москва: Панорама, 2004. – 28 с.

9. Багров В. А. Классификация. Разработка и создание электродных материалов для электроискрового легирования [Электронный ресурс] / В. А. Багров – Режим доступа до ресурсу: <http://files.khadi.kharkov.ua/mekhanichnij-fakultet/tehnologiji-materialiv-ta-materialoznavstva/item/10254-klassifikatsiya-razrabotka-i-sozdanie-elektroodnykh-materialov-dlya-elektroiskrovogo-legirovaniya.html>.
10. Физико-химическая механика материалов / В. Ф.Мазанко, К. Н. Храновская, Е. В. Иващенко, Е. В. Ворона, 2008. – С. 117–119.
11. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук / А. М. Степанчук. – Київ: НТУУ «КПІ», 2006. – 355 с.
12. Characterization of nanocrystalline CoCrFeNiTiAl high-entropy solid solution processed by mechanical alloying / [J. Y. Zhanga, S. W. Leeb, W. M. Wanga and other]. // Journal of Alloys and Compounds. – 2010. – №33. – p. 38.
13. Varalakshmi S. Processing and properties of nanocrystalline CuNiCoZnAlTi high entropy alloys by mechanical alloying / S. Varalakshmi, M. Kamaraj, B. S. Murty // Materials Science and Engineering, 2010. – p. 1027–1030.
14. Смышляева Т.В. Изотермический распад переохлажденного аустенита в псевдосплавах хромоникелевая сталь-медь/ Т.В. Смышляева, А.А. Шацов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2000. № 1. С. 11—14.
15. Николенко С. В. Закономерности образования измененного поверхностного слоя при электроискровом легировании [Текст] / С. В. Николенко, А. Д. Верхотуров, Г. П. Комарова // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – №4 (40). – С. 20-28.
16. Исследование закономерностей процессов формирования поверхностных слоёв при электроэрозионном легировании. Часть I / В. Б.Тарельник, О. П. Гапонова, Е. В. Коноплянченко, М. Я. Довжик // Металлофизика и новейшие технологии, 2016. – Т. 38, № 12. – С. 1611—1633.

17. Саверин М.И. Дробеструйный наклёп. / М.И Саверин. – М.: Машиностроение, 1955. – 346 с.
18. Nikolenko S. V. Nanostructuring a steel surface by electrospark treatment with new electrode materials based on tungsten carbide. In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry./ S. V. Nikolenko 2011, Vol. 47, Issue 3, pp 217-224.
19. Гетманець С. М. Технологія зміцнення поверхні. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання» / С. М. Гетманець, А. В. Чорний, Д. В. Степанов. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 35 с.
20. Mulin Y. I. Technological Solution of Forming Coatings with Required Depth During Electrospark Alloying / Y. I. Mulin, L. A. Klimova, D. A. Dmitriev // Russian Technical News Letter. – 2001. – № 3. – С. 30–31.
21. del Grosso M. F. Modeling of high entropy alloys of refractory elements / M. F. del Grosso, G. Bozzolo, H. O. Mosca // Physica B: Condensed Matter – Mosca., 2012. – p. 3285–3287.
22. Бородий Ю.П. Экспериментальное исследование особенностей формирования поверхностного износостойкого слоя рабочих элементов разделительных штампов/ Ю. П. Бородий, В. А. Маковей // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 2 (37). – 2013. – ПолтНТУ. – С. 61–65.
23. Причини та характер зношування різального інструменту при механічній обробці різанням титановмістних композиційних матеріалів / В. Ф. Лабунець, Є. В. Корбут, О. В. Радько, В. С. Шевчук, В. В. Загребельний // Проблеми тертя та зношування, 2015. – Вип. 3 (68). – С. 69– 73.
24. Бородий Ю.П. Экспериментальное исследование особенностей формирования поверхностного износостойкого слоя рабочих элементов разделительных штампов/ Ю. П. Бородий, В. А. Маковей // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 2 (37). – 2013. – ПолтНТУ. – С. 61–65.

25. Mulin Y. I. Technological Solution of Forming Coatings with Required Depth During Electrosark Alloying / Y. I. Mulin, L. A. Klimova, D. A. Dmitriev // Russian Technical News Letter. – 2001. – № 3. – С. 30–31.
26. Михайлюк А.И. Формирование износостойких графитизированных слоев на поверхности деталей из сплавов железа и титана методом электроискрового легирования / А.И. Михайлюк // Металловедение и термическая обработка. – 2000. – № 7. – С. 23 – 26.
27. Михайлюк А.И. Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / А.И. Михайлюк // Электронная обработка материалов. – 2003, – № 3. – С. 21 – 23.
28. Упрочняющая обработка ППД [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://studref.com/378914/tehnika/uprochnyayuschaya_obrabotka.
29. Барсов А.И. Технология изготовления режущего инструмента/ А.И. Барсов – 1979, 136 с.
30. Загребельний В. В. Підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей комбінованою лазеро-хіміко-термічною обробкою / В. В. Загребельний // Проблеми трибології, 2016. – № 3. – С. 59–64.
31. Хижняк В. Г. Комбінований метод зміцнення сталі Р6М5 азототитануванням, азотохромованням та дискретною лазерною обробкою / В. Г. Хижняк, М. В. Кіндрачук, В. В. Загребельний // Проблеми трибології, 2015. – № 4. – С. 99–105.
32. Параметри дискретної структури азотованих покриттів рівної зносостійкості та з підвищеним опором втомному руйнуванню / М. В. Кіндрачук, В. В. Клімін, І. А. Гуменюк, В. В. Загребельний, В. Є. Костюк // Проблеми тертя та зношування, 2015. – Вип. 4 (69). – С. 58–63.
33. Procesy zuzycia wedlug schematu “narzedzie tnace – stopy tytanu”/ E. V. Korbut, E. Wajs, O. V. Radko, V. F. Labunec, W. W. Zagrebelny // Obrobka metalu, 2015. – № 1. – С. 36–39.

- 34.Лабунець В.Ф. Зносостійкість сталі 65Г в умовах абразивного зношування / В.Ф. Лабунець, М.І. Денисенко, В.В. Загребельний // Проблеми тертя та зношування. 2015. – 1 (66). – с. 113-117.
- 35.Кудрин А.П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А.П. Кудрин, В.Ф. Лабунец, О.А. Вишневский. – К.: Вісник НАУ, 2003. – № 2. – С. 111 – 114.
- 36.Евдокимов Ю. А. Планирование и анализ эксперимента при решении задач трения и износа / Ю. А. Евдокимов, В. И. Колесников, А. И. Тетерин. – М.: Наука, 1980. – 228 с.
- 37.Стасовская В.В. Исследование твердости, хрупкости и абразивной способности порошков тугоплавких соединений: Автореферат канд. дис. – Киев, 1967.–24 с.
- 38.Czerwinski F. Heat Treatment: Conventional and Novel Applications / F. Czerwinski – InTech, 2012. – 408 p.
- 39.Диффузионные карбидные покрытия / Лоскутов В. Ф., Хижняк В. Г., Куницкий Ю. А., Киндрачук М. В. – Киев: Техника, 1991. – 168 с.
- 40.Laser Pulse Heating of Surfaces and Thermal Stress Analysis / B. S. Yilbas, A. Y. Al-Dweik, N. Al-Aqeeli, H.M. Al-Qahtani. – Springer International Publishing. – Switzerland, 2014. – 180 p.
- 41.Ляшенко Б. А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры / Б. А. Ляшенко, А. Я. Мовшович, А. И. Долматов // Технологические системы, 2001. – № 4 (10).– С. 17–25.
- 42.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 43.Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.
- 44.Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений/ Е.И. Пустыльник.// Наука, Москва, 1968 г., 288 стр.

45. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова // Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95-97.
46. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>.
47. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова // Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95-97.
48. Луника М. Н. Упрочнение поверхности стали карбидами титана и хрома / М. Н. Луника // Металловведение и термическая обработка металлов, 1993. – № 2. – С. 18–20.
49. Харниш В. Правила прибыльных стартапов : как расти и зарабатывать деньги / В. Харниш ; пер. с англ. В. Хозинского. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 279 с.
50. Graham P. Hackers and Painters: Big Ideas from the Computer Age / P. Graham — Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media Inc., 2004. — P. 258. — URL: <http://paulgraham.com/wealth.html>;
51. Чеберко Е.Ф. Проблемы теории и практики предпринимательства / Е.Ф. Чеберко В.А. Казаков // Проблемы современной экономики. —2012. — № 3 (43). — с. 128—132. — URL: <http://www.m-economy.ru/art.php2nArtId=4188>.
52. Охорона праці [Електронний ресурс] — https://uk.wikipedia.org/wiki/Охорона_праці.
53. Трудове законодавство про персонал [Електронний ресурс] — [http://pidruchniki.com/18340719/menedzhment/trudove_zakonodavstvo_pro_person al](http://pidruchniki.com/18340719/menedzhment/trudove_zakonodavstvo_pro_person_al).
54. Основы охраны труда: Пособие / [К. Н. Ткачук, М. О. Халимовский, В. В. Зацарный та ін.]. – Київ: Основа, 2006. – 448 с.

55. Строительные нормы и правила. Административные и бытовые здания: СНиП 2.09.04-87.
56. Желібо Є.П., Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації/ Є.П.Желібо, Н.М.Заверуха, В.В.Зацарний – Київ: «Каравела». – 2001. – 320 с.
57. Инструкция «Рекомендации по нанесению износостойких покрытий на инструмент из быстрорежущей стали на установке «Булат 21М». – Харьков: Укроргстанкинпром, 1981. – 23 с.
58. Катренко Л. А. Охорона праці в галузі освіти / Л. А Катренко, І. П. Пістун – К.: Університетська книга; Суми, 2001. - 340 с
59. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.
60. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
61. Санитарные правила работы с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения: СП 1960-79.
62. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность: ГОСТ 12.1.009-76.
63. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу Ц Охорона праці. –1998. – № 6.
64. Пожежна безпека [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/1373051938220/bzhd/pozhezhna_bezpeka.
65. Дмитрієв С. Л. Основи пожежної безпеки / С. Л. Дмитрієв, С. В. Нестеренко. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 64 с.